

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Б. Д. Бачишин

ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ

Навчальний посібник

Рівне - 2020

УДК 528.48(075.8)

Б32

Рецензенти:

Рябчий В. В., кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри геодезії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро;

Янчук О. Є., кандидат технічних наук, доцент Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне.

Рекомендовано вченою радою Національного університету водного господарства та природокористування.

Протокол № 6 від 26 червня 2020 року.

Бачишин Б.Д.

Б32 Інженерна геодезія : навч. посіб. [Електронне видання]. – Рівне : НУВГП, 2020. – 196 с.

ISBN 978-966-327-480-5

Висвітлено основні етапи інженерно-геодезичних робіт. Описано особливості геодезичного забезпечення будівництва різних типів інженерних споруд. Розглянуто особливості виконання польових та камеральних робіт з використанням сучасних автоматизованих геодезичних приладів, систем та комплексів управління будівельною технікою. Деталізовано сучасні напрямки та тенденції розвитку інженерно-геодезичних вимірювань.

Для студентів спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій».

Табл.12, іл. 57, список літ. 36 назв.

УДК 528.48(075.8)

ISBN 978-966-327-480-5

© Б. Д. Бачишин, 2020

© Національний університет
водного господарства та
природокористування, 2020

ЗМІСТ

ЗМІСТ	3
ВСТУП	8
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	9
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНЕ ПРИЛАДОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ	10
1.1. Знімальні та розмічувальні роботи з тахеометром TCR 405 ultra	10
1.1.1. Функціональні можливості тахеометра TCR 405 ultra	10
1.1.2. Порядок роботи з тахеометром TCR 405 ultra ..	12
1.1.3. Вільна станція з тахеометром TCR 405 ultra ..	14
1.1.4. Наземне знімання тахеометром TCR 405 ultra ..	16
1.1.5. Розмічування з тахеометром TCR 405 ultra	18
1.1.6. Підпрограма «базова лінія» з тахеометром TCR 405 ultra	20
1.2. Визначення координат точок за допомогою двохчастотного приймача супутникових сигналів Trimble R6	21
1.3. Наземні лазерні сканери	25
1.4. Геодезичні роботи на будівельному майданчику за допомогою навігатора розмічення Topcon LN-100 ...	29
1.5. Багатопроменеві лазерні прилади	30
1.6. Компактний лазерний віддалемір (рулетка) Disto A5	32
1.7. Знімання підземних комунікацій трасошукачем Digicat 200	34
1.8. Картографування неоднорідностей в ґрунті та будівельних конструкціях за допомогою георадара ..	37
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ІНЖЕНЕРНО- ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ. ОПОРНІ ІНЖЕНЕРНО- ГЕОДЕЗИЧНІ МЕРЕЖІ	41
2.1. Етапи інженерно-геодезичних робіт	41
2.2. Особливості проведення інженерно-геодезичних робіт в умовах будівельного майданчика	41
2.3. Сучасні методи створення інженерно-геодезичних мереж	45
2.4. Особливості геодезичних вимірювань в інженерно- геодезичних мережах	46

2.5. Методи розрахунку точності інженерно-геодезичних робіт	47
РОЗДІЛ 3. ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНІ ВИШУКУВАННЯ .	52
3.1. Склад інженерно-геодезичних вишукувань.	52
3.2. Великомасштабні інженерно-геодезичні знімання . . .	53
3.3. Трасування лінійних споруд.	55
РОЗДІЛ 4. ГЕОДЕЗИЧНІ РОЗМІЧУВАЛЬНІ РОБОТИ.	60
4.1. Геодезична розмічувальна мережа для будівництва. .	60
4.2. Точність розмічувальних робіт.	62
4.3. Елементи розмічувальних робіт	66
4.4. Сучасні методи винесення в натуру осей споруд	66
4.5. Детальні розмічувальні роботи.	67
4.6. Метод вільної станції	67
4.7. Способи визначення місцеположення тахеометра в методі вільної станції.	68
РОЗДІЛ 5. ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНТАЖНИХ РОБІТ.	72
5.1. Геодезична підготовка до монтажних робіт	72
5.2. Способи встановлення конструкцій в плані	72
5.3. Вивірка прямолінійності технологічного обладнання .	74
5.4. Контроль висотного положення конструкцій.	75
5.5. Перевірка вертикальності конструкцій	75
5.6. Виконавче знімання	77
5.7. Точність геодезичних монтажних та виконавчих робіт	77
РОЗДІЛ 6. ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ БУДІВЕЛЬ.	83
6.1. Розміщення деформаційних марок. Точність та періодичність спостережень за деформаціями	83
6.2. Аналіз стабільності реперів опорної мережі	88
6.3. Способи спостереження за деформаціями.	91
6.4. Визначення горизонтальних зміщень споруд.	92
6.5. Спостереження за кренами та тріщинами	93
6.6. Спостереження за зсувами	95
РОЗДІЛ 7. ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ ЗВЕДЕННІ БУДИНКІВ.	97
7.1. Геодезичні роботи в підготовчий період.	97
7.2. Розмічування і закріплення осей будівель.	97
7.3. Геодезичне забезпечення облаштування котловану. .	98
7.4. Геодезичні роботи при зведенні фундаментів будинків.	98

7.5. Геодезичні роботи при зведенні каркасних будівель. .	100
7.6. Геодезичні роботи при зведенні монолітних будівель	103
7.7. Геодезичні роботи при зведенні цегляних будівель . .	105
7.8. Геодезичні роботи при прокладанні підземних інженерних мереж.	105
РОЗДІЛ 8. ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ БУДІВНИЦТВІ	
АВТОМОБІЛЬНИХ ТА ЗАЛІЗНИЧНИХ ДОРІГ, МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ ТА ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ.	
8.1. Дорожні вишукування.	107
8.2. Відновлення осі.	107
8.3. Розмічування земляного полотна	108
8.4. Розмічення верхнього покриття дороги	109
8.5. Віражі	110
8.6. Серпантини	111
8.7. Розмічення перетинів автодоріг	111
8.8. Розмічення з'єднань залізничних доріг.	113
8.9. Знімання залізничних колій	114
8.9.1. Комплексні системи для моніторингу стану залізниць.	115
8.10. Особливості геодезичного забезпечення будівництва магістральних трубопроводів та ліній електропередач (ЛЕП).	118
РОЗДІЛ 9. ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ БУДІВНИЦТВІ	
МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ.	
9.1. Знімання мостового переходу.	121
9.2. Визначення довжини мостового переходу	122
9.3. Передача висот через водотоки	122
9.4. Мостова розмічувальна мережа.	125
9.5. Розмічення центрів мостових опор	126
9.6. Детальне розмічення опор мосту.	126
9.7. Вивірка мостових прольотів. Спостереження за деформаціями.	129
РОЗДІЛ 10. ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ БУДІВНИЦТВІ	
АЕРОПОРТІВ.	
10.1. Геодезичні вишукування для аеропортів.	133
10.2. Геодезична опорна мережа. Знімання.	134
10.3. Розмічування осей аеродрома.	135
10.4. Розмічувальні роботи при переміщенні землі.	135

10.5. Геодезичні роботи під час бетонування покриття злітної смуги.	136
10.6. Розмічення підземних комунікацій аеродрому.	136
РОЗДІЛ 11. ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ БУДІВНИЦТВІ	
ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД.	138
11.1. Гідротехнічні споруди.	138
11.2. Складання поздовжнього профілю ріки	138
11.3. Топографо-геодезичні роботи на водосховищах	140
11.4. Знімання русла.	141
11.5. Гідромеліоративні вишукування.	142
РОЗДІЛ 12. ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ БУДІВНИЦТВІ	
ТУНЕЛІВ, ПІДЗЕМНИХ ТА ПРЕЦИЗІЙНИХ СПОРУД.	143
12.1. Загальні відомості про тунелі і підземні споруди. . .	143
12.2. Геодезична мережа тунелю.	147
12.2.1. Особливості побудови геодезичної мережі на поверхні землі.	148
12.2.2. Підземна геодезична мережа тунелю.	149
12.3. Розрахунок точності геодезичного забезпечення . . .	150
12.4. Орієнтування підземної геодезичної мережі.	153
12.5. Передача висот під землю.	154
12.6. Розмічення осі тунелю. Детальні розмічення. Спостереження за деформаціями.	156
12.7. Геодезичні роботи при будівництві станцій метро . .	157
12.8. Прецизійні споруди.	158
12.9. Вивчення мікрорухів гірських порід при виборі місць будівництва прецизійних споруд	159
12.10. Особливості геодезичних робіт для будівництва прецизійних споруд	162
РОЗДІЛ 13. ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ДЛЯ ПІДКРАНОВИХ	
КОЛІЙ	165
13.1. Геодезичні роботи при монтажі підкранових колій .	165
13.2. Геодезичний контроль підкранових колій в ході експлуатації.	166
13.2.1. Визначення геометричних параметрів підкранових колій електронним тахеометром	167
13.2.2. Новітні методи визначення геометричних параметрів підкранових колій.	170

РОЗДІЛ 14. АВТОМАТИЗОВАНІ ГЕОДЕЗИЧНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БУДІВЕЛЬНОЮ ТЕХНІКОЮ ДЛЯ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ.	174
14.1. Автоматизовані системи для грейдерів, бульдозерів, скреперів.	174
14.2. Автоматизовані системи для екскаваторів	180
Список літератури	183
Додатки	186
Предметний покажчик	192

ВСТУП

Інженерно-геодезичні роботи займають домінуюче положення на ринку геодезичних робіт. Різноманітність інженерних об'єктів вимагає різноманітності геодезичних приладів, систем, точності та методів, які використовуються для геодезичного забезпечення спорудження цих об'єктів.

За останні 20-25 років стрімких змін зазнали конструкції, розміри та вага геодезичних приладів, значно зросла швидкість обробки ними інформації та кардинально зменшився ступінь участі оператора в процесі обробки. Ці зміни викликали кардинальну зміну технологій виконання інженерно-геодезичних робіт.

Переважає більшість україномовної навчальної літератури з інженерної геодезії висвітлює методики виконання інженерно-геодезичних робіт, які застосовувались 40-70 років тому, і які в більшості можна віднести до історичних методів. Дуже часто перша частина цих книг присвячена топографічним роботам чи основам геодезії.

Я відмовився від викладу розділу топографії, який студенти засвоюють на першому курсі, а також спробував наситити всі розділи книги сучасними інженерно-геодезичними технологіями, методами, приладами та системами.

Матеріал, викладений в посібнику, сформовано на основі багаторічного досвіду викладання автором однойменної навчальної дисципліни та сучасного виробничого досвіду.

Автор вдячний рецензентам кандидатів технічних наук *Рябчію Владиславу Валерійовичу* та кандидатів технічних наук *Янчуку Олександрову Євгеновичу* за цінні поради та зауваження, які врахував при доопрацюванні посібника.

Перелік скорочень

- ГНСС (GNSS) – глобальна навігаційна супутникова система – система визначення місцеположення (та напрямку руху) шляхом прийому та опрацювання сигналів від штучних супутників Землі
- ГЛОНАСС – глобальна навігаційна супутникова система (Росія)
- ДБН – Державні будівельні норми
- ДГМ – Державна геодезична мережа
- ЛЕП – лінія електропередач.
- МСК – місцева система координат
- СКП – середня квадратична похибка
- ТОЗ – точка одностороннього зв'язку
- ТПК – тунелепрохідний комплекс
- УКХ – ультракороткі хвилі
- УСК-2000 – Українська система координат 2000 року
- ATR – Automatic Target Recognition – система автоматичного розпізнавання цілі в тахеометрах фірми Лейка
- CAN – controller area network – інтерфейс передавання інформації
- CMRx – compact measurement record – компактний запис вимірів – формат передачі поправок системи GPS, розроблений фірмою Trimble, символ x означає вдосконалений в 2009 році початковий формат
- EDM – electronic (electromagnetic) distance measurement – спосіб вимірювання віддалі за допомогою електромагнітних хвиль (світло- чи радіовіддалемір)
- GPS – global positioning system – глобальна система місцевизначення (США)
- PPK – post processing kinematic – кінематика з постопрацюванням – спосіб визначення просторових координат точок (часто під час руху) за допомогою приймачів ГНСС з опрацюванням результатів після вимірювання
- QZSS – quasi-zenith satellite system – квазізенітна супутникова система (Японія) – регіональна система диференціальної корекції для GPS
- RL – reflectorless – без світловідбивача – режим вимірювання електронним тахеометром без використання відбивальної призми
- RTK – real time kinematic – кінематика реального часу - спосіб визначення просторових координат точок за допомогою приймачів ГНСС в реальному режимі часу

Розділ 1. Сучасне приладове забезпечення інженерно-геодезичних робіт

1.1. Знімальні та розмічувальні роботи з тахеометром TCR 405 ultra

1.1.1. Функціональні можливості тахеометра TCR 405 ultra

Тахеометр TCR 405 ultra відносять до класу точних приладів, він забезпечує виконання типових топографічних видів робіт та інженерних задач. Цей тахеометр дозволяє вимірювати віддалі без відбивача, що значно підвищує ефективність робіт під час тахеометричного знімання. В приладі застосовано лазерний центрир та лазерний візир. Дальність безвідбивних вимірювань світловідалеміром є обмеженою і залежить від таких факторів:

- потужності джерела випромінювання;
- прозорості та стану атмосфери;
- відбивних характеристик об'єктів, до яких виконують вимірювання.

Даний електронний тахеометр, як і всі інші, вимірює три фізичні величини – горизонтальний кут (напрямок), вертикальний кут (напрямок) та похилу віддадь. Всі інші величини – перевищення, горизонтальне прокладання, прирости координат, прямокутні просторові координати – вираховуються.

В тахеометрі TCR 405 ultra для вводу цифр та літер використовують «електронні» кнопки та чотири багатофункціональні фізичні кнопки. Меню організоване за змішаним типом, в якому поєднано ієрархічну та реляційну структури. Є можливість виходу з підпрограми в будь-який момент часу, а також можливість переходу з програми до певних функцій. Організація роботи з TCR 405 ultra є м'якою та багатоваріантною – одну й ту ж процедуру можна виконати кількома способами.

Основні технічні характеристики приладу [32]:

- точність вимірювання горизонтального кута – $5''$;
- точність вимірювання вертикального кута – $5''$;
- точність вимірювання віддалей:
- $2 + 2 \cdot D \cdot 10^{-6}$ мм для точного режиму на відбивач в інфрачервоному діапазоні вимірювання;

- $5 + 2 \cdot D \cdot 10^{-6}$ мм для інфрачервоного швидкого режиму на відбивач (або в режимі безперервних вимірювань – слідування);
- $3 + 2 \cdot D \cdot 10^{-6}$ мм для режиму роботи без відбивача (RL) на короткі віддалі до 80 м у видимому діапазоні вимірювання;
- $5 + 2 \cdot D \cdot 10^{-6}$ мм для видимого діапазону в режиму на призму на довгі віддалі та в режимі слідування;
- радіус дії віддалеміра:
- 1800 м для інфрачервоного режиму вимірювань на стандартну призму при умовах: димка, видимість 5 км, сонячна погода, сильне коливання зображення;
- 3500 м для цього ж режиму при умовах: димка відсутня, видимість 40 км, хмарно, коливання зображення відсутні;
- 1500 м для видимого режиму вимірювань на стандартну призму при умовах: димка, видимість 5 км, сонячна погода, сильне коливання зображення;
- 5000 м для цього ж режиму при умовах: димка відсутня, видимість 40 км, хмарно, коливання зображення відсутні; для вимірювань з підсиленням сигналу ці границі зростають відповідно до 2200 м та до 10000м;
- 50 м для видимого режиму вимірювань без відбивача при умовах: димка відсутня, хмарно, коливання зображення відсутні, вимірювання на темний об'єкт;
- 80м для цього ж режиму при таких же умовах, але вимірюють на світлий об'єкт; для вимірювань з підсиленням сигналу ці границі зростають відповідно до 100м та до 170 м;
- збільшення зорової труби – 30^{\times} ;
- зображення зорової труби – пряме;
- карта пам'яті відсутня, пам'ять внутрішня обсягом 576Kb (16000 точок);
- напруга живлення – 6 В;
- тривалість безперервної роботи акумуляторної батареї – 6 годин;
- діапазон робочих температур – від -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$;
- вага приладу – 5,2 кг;

1.1.2. Порядок роботи з тахеометром TCR 405 ultra

Порядок включення тахеометра TCR 405 ultra такий:

1. Встановити тахеометр на штатив та приблизно привести в середнє положення підйомні гвинти.

2. Натиснути кнопку включення.

3. Активувати електронний рівень та висок: кнопка «FNC», команда *Рівень/висок*.

4. Якщо необхідно центрувати прилад, то слід поставити ніжки штатива так, щоб лазерний висок (центр) попадав приблизно на точку, над якою потрібно зцентрувати тахеометр. Повертаючи підйомні гвинти необхідно точно направити лазерний висок на точку, а потім, змінюючи довжину ніжок штатива, привести круглий рівень в нульпункт.




5. Активувати електронний рівень та висок, якщо він відключений. Якщо тахеометр не приведено в робоче положення, то через кілька секунд ця команда активується автоматично. Привести тахеометр точно в робоче положення, використовуючи електронний рівень.




6. Вибрати сторінку меню (шаблон) вимірювань кнопкою «PAGE».

7. Вибрати режим вимірювання: з відбивачем чи без відбивача.

Тахеометр готовий до роботи. Перед початком роботи необхідно ввести значення атмосферних параметрів: температури та тиску та перевірити (чи вибрати) одиниці вимірювання.

Вибір сторінки меню (шаблону) вимірювань. Меню вимірювань тахеометра TCR 405 ultra має 4 варіанти набору параметрів:

PtID	PtID	PtID	PtID
h _{ОТР}	h _{ОТР}	h _{ОТР}	Гор
Гор	Гор	Гор	Верт,
Верт	Верт	X	
		Y	
		H	

де PtID – номер точки, h_{ОТР} – висота відбивача, Гор – горизонтальний кут, Верт – вертикальний кут,  – виміряна похила віддаль,  – горизонтальне прокладання,  – перевищення, X, Y, H – прямокутні просторові координати.

Після включення тахеометра процесор пропонує першу сторінку меню.

Для **вибору режиму вимірювання** на відбивач чи без відбивача необхідно активувати функцію **Меню/EDM Settings** (рис. 1.1), вибрати функцію **Режим EDM** та стрілками «вліво» «вправо» активувати потрібне.

Можливі два режими вимірювань:

- *на відбивач*, його називають точним, або інфрачервоним (IR) за частотою вимірювального коливання;

- *без відбивача* – RL.

Крім того, в цьому ж вікні необхідно перевірити тип

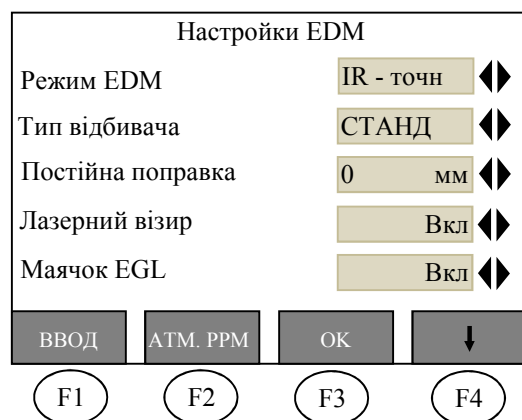


Рис. 1.1. Меню настройок віддалеміра тахеометра TCR 405 ultra

відбивача, який ми використовуємо та значення постійної поправки для нього (рис. 1.1). Якщо ми

використовуємо стандартний відбивач з комплекту тахеометра, то значення постійної рівне нулю. В режимі роботи RL постійна рівна «+34,4 мм». Інші моделі відбивачів та значення їх постійної наведені в посібнику користувача [32]. В нових моделях цього

ряду тахеометрів є можливість вказати для реєсника напрямок візирної осі. Це реалізували за допомогою маячка EGL. Дальність дії маячка – 150 м. Ця можливість дуже ефективна при перенесенні проекту в натуру. Якщо реєсник знаходиться зліва від візирної осі, то він бачитиме червоне світло, що мигає, а коли справа – то жовте.

Для того, щоб ввести значення **параметрів атмосфери**, необхідно активувати функцію **АТМ.РРМ** (функціональна кнопка **F2**) та ввести температуру в градусах Цельсія та тиск. Є можливість ввести середню висоту над рівнем моря. За введеними даними

процесор вираховує поправку (*атм. ррм*) у виміряну віддаль, яку вимірюють в мм на 1 км. Вибір одиниць вимірювань можна здійснити кнопкою «FNC», команда *Одиниці вимірювання*.

1.1.3. Вільна станція з тахеометром TCR 405 ultra

Метод вільної станції з тахеометром TCR 405 ultra має свої особливості:

- кількість вихідних пунктів від 2-х до 5;
- для кожної точки можна вимірювати всі величини, або лише віддаль, або лише кути;
- є можливість включати і виключати з результатів обробки як окремі виміряні величини для точки, так і окремі точки;
- є можливість виконувати багатократні вимірювання на один і той же напрямок, включаючи та знову виключаючи їх з обробки;
- вимірювання можна виконувати як при одному положенні вертикального круга, так і при двох;
- висота відбивача на одній точці повинна бути однаковою для вимірювань при двох положеннях вертикального круга;
- порядок спостереження точок довільний;
- якщо при одному положенні вертикального круга певну точку спостерігали кілька разів, то в обробку беруть останній результат вимірювань;
- точки, які мають висоту 0,000 м в обробку не беруть: якщо ж така точка все таки є, то необхідно для неї задати висоту 0,001 м;
- програма обчислення координат станції виконує оцінку точності отриманих координат.

Порядок роботи такий [32]:

1. Встановити тахеометр та привести його в робоче положення.

2. Вибрати режим вимірювань ***Вільна станція*** – ***MENU/PROGRAM*** (функціональна кнопка ***F1***) / ***FREE STATION (F3)***.

3. Вибрати чи створити новий проект – ***Вибір проекту (F1) / Новий (F1) / Ввод (F1)***. Необхідно ввести назву нового проекту робіт і підтвердити кнопкою «ОК» (***F4***). Назва проекту може містити букви, цифри та інші знаки. Вибір необхідного символу здійснюють таким чином. Всі знаки розбиті на групи по 4 символи в

кожній (рис. 1.2). При виборі певної групи, її 4 складові розподіляють на відповідні функціональні кнопки (рис. 1.2). Після чого можна зробити вибір необхідного символу. В цьому випадку вибрали групу символів «DEFG» (кнопка **F2**), а потім символ D (кнопка **F1**) (рис. 1.2). Стрілкою «вниз» переходять до наступної трійки груп символів

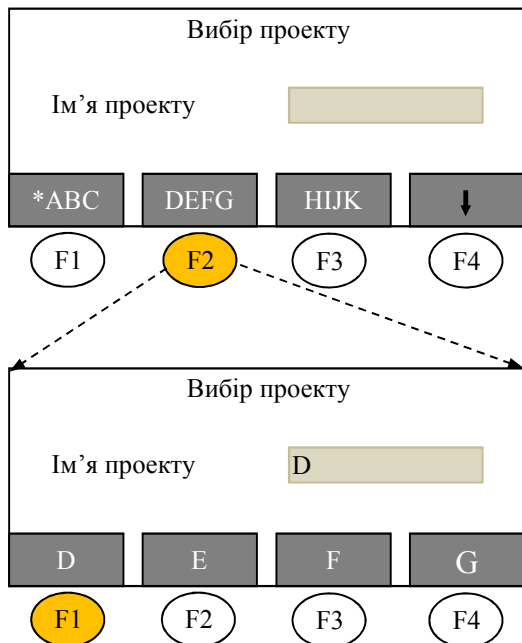


Рис. 1.2. Організація вводу цифр та букв в тахеометрі TCR 405 ultra

Спеціальна кнопка для роботи із дисплеєм (рис. 1.3) дозволяє переходити від однієї величини до іншої, а також від одного символу (позиції) до іншого при введенні та редагуванні даних.

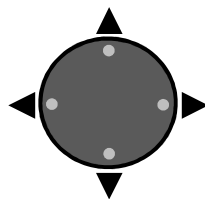


Рис. 1.3. Кнопка для переходу від однієї позиції до іншої

редагування. Для того, щоб підтвердити вибір введеного значення, потрібно натиснути кнопку «**Enter**».

4. Виміряти висоту приладу та висоту відбивача.
5. Ввести ім'я (номер) станції та висоту приладу.
6. Вибрати першу точку зі списку чи ввести її ім'я та висоту відбивача. Якщо введеної точки немає в переліку, то необхідно ввести вручну її координати X, Y, H (F4).
7. Виміряти точку 1. Запуск процесу вимірювання здійснюють командою «**ALL**».

8. За цією командою вимірюють всі величини і автоматично записують їх у пам'ять. Інший варіант – окремо виміряти всі величини командою «РАССТ» (дуже невдалий термін) та окремо записати їх в пам'ять (команда «ЗАПИС»).

9. Перейти до роботи із наступною точкою (F2).

10. Вибрати другу точку зі списку чи ввести її ім'я та висоту відбивача.

11. Виконати вимірювання та точку 2.

12. Аналогічно двом останнім пунктам можна вводити дані та проводити вимірювання ще для трьох точок. Для переривання процесу в будь-який момент – кнопка «ESC». Будь-яку точку можна спостерігати при одному або при двох положеннях вертикального круга.

13. Після того, як ми виконали мінімальне число вимірів, достатнє для обчислення координат, стає доступною команда Обчислити координати «ВЫЧ». Ця команда виводить на дисплей координати станції. Після цього стають доступними такі команди:

14. «ПРЕД» – повернення на крок назад до вікна повторних вимірювань;

15. «СКО» – індикація середніх квадратичних похибок координат;

16. «РАСХ» – індикація відхилень горизонтального кута, горизонтального прокладання та перевищення для кожної з вихідних точок. За допомогою кнопки роботи з дисплеєм (рис. 1.3) є можливість перегляду цих помилок для всіх точок.

17. Після аналізу похибок є можливість виключати із результатів вимірювань ті, які на нашу думку є найменш надійними – команда «Виключ/Включ». Цією ж командою можна повернути результати до обробки.

18. Записати координати вільної станції в пам'ять комп'ютера командою «ОК».

1.1.4. Наземне знімання тахеометром TCR 405 ultra

Перед тим, як виконувати знімання, необхідно встановити тахеометр в потрібному місці, привести його в робоче положення, описати станцію та виконати орієнтування.

Для **опису станції** слід виконати такі операції:

1. Вибрати прикладну програму **Знімання**

MENU/PROGRAM (F1) / Знімання (F1).

2. Описати проект, якщо потрібно.
3. Виміряти висоту приладу та висоту відбивача.
4. Активувати функцію **Вибір станції (F2)**.

Вибрати станцію можна кількома способами:

- вибрати ім'я із списку записаних в пам'ять пунктів (**F3**);
- пошук за відомим іменем (**F2**);
- введення нового імені станції із клавіатури (**F1**): при цьому

необхідно ввести також координати станції $X0$, $Y0$, $H0$.

5. Ввести висоту приладу.

6. Зберегти дані «**SAVE**».

Орієнтування (F3) можна виконувати двома шляхами:

- за значенням дирекційного кута на орієнтирний напрямок (**F1**);

- за координатами орієнтирного пункту (**F2**).

В першому випадку необхідно:

1. Ввести значення дирекційного кута, ім'я орієнтирного пункту та висоту відбивача на ньому. Для того, щоб ввести (редагувати) значення параметру, необхідно перейти до поля цього параметру та активувати його кнопкою «**Enter**».

2. Виконати вимірювання на цей орієнтирний пункт – «**ALL**». Процесор автоматично здійснює запис результатів орієнтування та виводить відповідне повідомлення про те, що орієнтування завершено.

При орієнтуванні за координатами пунктів потрібно:

1. Ввести ім'я орієнтирного пункту для пошуку його в пам'яті. При відсутності такої точки в пам'яті, програма пропонує ввести її координати вручну

2. Ввести висоту відбивача.

3. Виконати вимірювання на цей орієнтирний пункт командою «**ALL**». Підпрограмою передбачена можливість використовувати для орієнтування максимум 5 вихідних пунктів. Вводити дані про орієнтирні пункти, спостерігати їх та обробляти результати слід так само, як у прикладній програмі Вільна станція (див п. 1.1.3).

4. Функція **Resid** дає можливість переглянути залишкові похибки після зрівноваження на кожен із орієнтирних пунктів.

Перехід в режим **Знімання** здійснюють кнопкою **F4**. Порядок

вимірювання таких:

1. Ввести номер першого пікета, висоту відбивача і, якщо потрібно, код точки.

2. Навести зорову трубу на відбивач, встановлений в точці.

3. Виконати вимірювання та записати результати в пам'ять кнопкою «ALL». Процесор автоматично збільшує номер пікета на одиницю. Якщо потрібно змінити поточний номер пікета, то слід активувати команду «I-ID».

4. Встановити відбивач в наступній точці та повторити процес вимірювань.

Кодування пікетів можна здійснювати двома способами. Перший – запис коду в поле «код». При цьому код не заносять до списку кодів, а розглядають як коментар. Другий – із застосуванням списку кодів, збереженого в пам'яті. Для запису такого коду необхідно активувати команду «CODE».

1.1.5. Розмічування з тахеометром TCR 405 ultra

Перед тим, як виконувати таку задачу, бажано ввести в пам'ять тахеометра номери та координати проектних точок.

В цьому тахеометрі передбачено три методи перенесення точок в натуру: полярний, перпендикулярів та прямокутних координат. Оператор має можливість вибрати метод. Кожному методу відповідає свій набір розмічувальних елементів.

Для **полярного методу** це:

- кутовий елемент (ΔGOR): має знак «+», коли проектна точка лежить справа від лінії візування;

- поздовжній елемент (Δ ); має знак «+», коли проектна точка – далі відбивача;

- висотний елемент (Δ ): має знак «+», коли проектна точка перебуває вище точки стояння відбивача;

В **методі перпендикулярів** використовують два лінійних елементи в плані (рис. 1.4) та один висотний:

- поперечний (ΔT) – зміщення перпендикулярно до лінії візування в точці стояння відбивача: має знак «+», коли проектна точка лежить справа від лінії візування;

- поздовжній (ΔL) – зміщення від отриманої точки (за попереднім елементом) вздовж лінії візування: має знак «+», коли проектна точка перебуває далі відбивача;

- висотний ΔH .

В методі **прямокутних координат** розмічувальними елементами є зміщення вздовж координатних осей ΔE , ΔN та ΔH . Перехід від одного методу до іншого виконують кнопкою «PAGE».

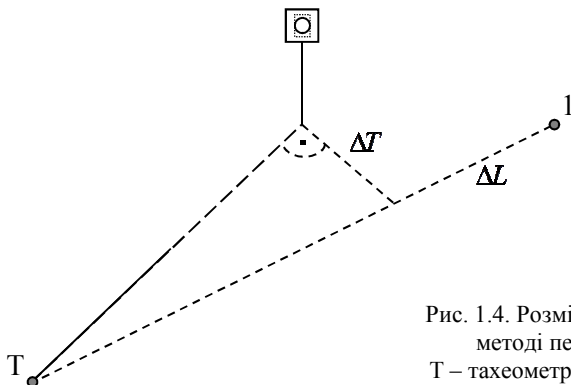


Рис. 1.4. Розмічувальні елементи в методі перпендикулярів:
Т – тахеометр, 1 – проектна точка

Порядок виконання задачі такий:

1. Активувати підпрограму *Розбивка* – *MENU/PROG/РОЗБИВКА*.


2. Якщо необхідно, то вибрати (описати) проект та станцію, а також зорієнтувати тахеометр. При описі станції необхідно виміряти та ввести значення висоти приладу.

3. Вибрати проектну точку стрілками «вліво», «вправо». Якщо проектна точка не записана в пам'яті тахеометра, то можна ввести з клавіатури значення її координат (команда «ХУН») або азимуту та горизонтального прокладання для неї (команда «В&D»). Коли перемістити курсор в поле Пошук, то команда «Ввод» активує процедуру вводу імені проектної точки. Якщо такої точки в пам'яті немає, то процесор виводить повідомлення «Виберіть проект, або введіть точку вручну».

4. Після вибору проектної точки підпрограма виводить на дисплей розмічувальні елементи. Стрілки «вліво», «вправо», «вниз», «вгору» підказують виконавцю куди необхідно повертати чи зміщувати відбивач. Плавно повертати тахеометр навколо осі доти, поки значення кутового елементу стане рівним нулю

$$\Delta GOP = 0^{\circ}00'00''.$$

5. Встановити відбивач в передбачуваному місці розташування проектної точки, виконати вимірювання та обчислити елементи виносу командою «РАССТ».

6. Встановити відбивач в створі заданого напрямку на віддалі Δ  від тахеометра та виконати вимірювання на відбивач. Після цього процесор «висвітить» на дисплеї нові значення розмічувальних елементів.

7. Зміщуючи відбивач, повторювати вимірювання до тих пір, поки поздовжній елемент стане рівний нулю.

8. Змінюючи положення відбивача по висоті (закопати штангу в землю, або забити в землю кілок під штангу і поступово змінювати його висоту), добитися ситуації, коли висотний елемент буде рівний нулю. **Зауваження:** змінювати висоту відбивача h_r **не можна.**

1.1.6. Підпрограма «базова лінія» з тахеометром TCR 405 ultra

Ця підпрограма призначена для перенесення в натуру осей інженерних споруд та прямолінійних ділянок доріг, а також для контролю положення цих елементів.

Як правило, проектну вісь визначають відносно заданої базової лінії, з якою можна здійснювати такі операції (рис. 1.5):

- поздовжнє зміщення;
- поперечне зміщення;
- зміщення по висоті;
- поворот навколо 1-ої точки.

Для того, щоб визначити базову лінію, необхідно:

1. Задати ім'я $PtID$ першої точки та виконати для неї вимірювання: «ALL»;

2. Задати ім'я $PtID$ другої точки та виконати для неї вимірювання: «ALL».

Координати точок, які визначають положення базової лінії, можна ввести з клавіатури (команда «ХУН») або вибрати їх із пам'яті (команда «ПОШУК» або «СПИСОК»). Базова лінія повинна бути більшою 1 см.

3. Після того, як базова лінія задана, можна ввести значення зміщень проектної лінії (осі споруди) відносно базової лінії

(рис. 1.5):

- Offs – паралельний зсув проектної осі (знак «+» відповідає зміщенню вправо від базової лінії);
- Line – поздовжнє переміщення початкової точки проектної осі (знак «+» відповідає напрямку до другої точки базової лінії);
- Hoffs – зміщення по висоті (знак «+» відповідає напрямку вгору від першої точки базової лінії);
- Rot – поворот навколо першої точки базової лінії (знак «+» відповідає напрямку за годинниковою стрілкою).

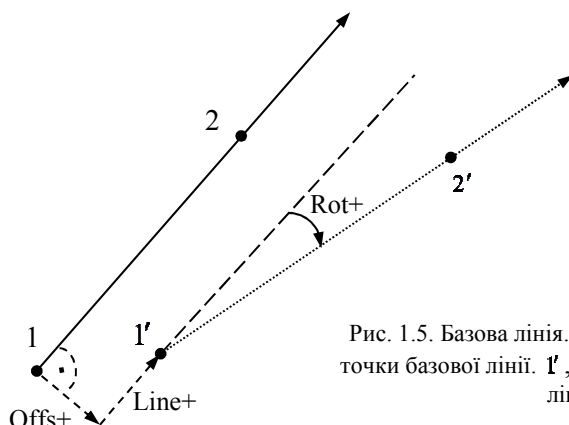


Рис. 1.5. Базова лінія. 1, 2 – перша та друга точки базової лінії. 1', 2' – точки проектної лінії

Є можливість задати всім зміщенням нульові значення – команда *Shift=0*.

Щоб відшукати положення точки, заданої зміщеннями відносно базової лінії, використовують команду **«РОЗБИВКА»**.

Наступний крок – обчислення розмічувальних елементів в плані та по висоті відносно проектної лінії командою **«L&O»**. Елементи розраховують для виміряної точки або для точки за заданими координатами. Всі висотні елементи обчислюють відносно висоти першої точки базової лінії.

Команда **«NewBL»** дає можливість перейти до роботи з новою базовою лінією.

Командою **«StOut»** здійснюють розбивку методом перпендикулярів. Для цього необхідно ввести планові та висотний елементи розбивки відносно проектної осі. Програма вирахує

відхилення значень цих елементів від поточних значень для точки, яку щойно спостерігали. Для того, щоб знайти проектне положення точки, необхідно змінити знаки відхилень на протилежні.

1.2. Визначення координат точок за допомогою двохчастотного приймача супутникових сигналів Trimble R6

Система Trimble R6 призначена для вирішення широкого кола задач на основі визначення координат точок земної поверхні за вимірними віддалами до штучних супутників Землі. Приймач може працювати в режимах [29]:

- диференціального кодового GNSS знімання;
- статичного та динамічного GNSS знімання;
- знімання в режимі реального часу RTK.

Система може нарощувати функціональні можливості по мірі розширення потреб виконавця. В корпусі системи Trimble R6 об'єднано сучасний GNSS приймач, високоточну антену, потужний акумулятор і вбудовані засоби зв'язку. Великий вибір вбудованих засобів зв'язку забезпечує польовій бригаді велику гнучкість при виборі типу зв'язку. Вбудований стільниковий модем забезпечує надійну роботу Trimble R6 в мережах VRS; а вбудоване УКХ радіо підтримує роботу в якості мобільного і навіть базового RTK приймача.

Приймач Trimble R6 оснащений модулем Trimble Maxwell™ 6 з 220 каналами, що забезпечує високу точність і надійність при точному позиціонуванні, а також якісне відстеження і високу продуктивність в режимі RTK. У стандартній комплектації Trimble R6 підтримує прийом сигналів глобальної системи GPS L1, L2, L2C, L5 і японської підсистеми QZSS. Додатково ви можете вибрати також сигнали ГЛОНАСС, Galileo і BeiDou (COMPASS), що дозволяє відстежувати більше число супутників і продовжувати роботу в складних умовах прийому.

Сигнал L2C має більш високу потужність, що підвищує надійність відстеження супутників. Сигнал на третій «цивільній» частоті GPS L5 має найбільшу потужність серед інших, використовує найширшу смугу пропускання і найдовші коди, що полегшує відстеження слабких сигналів. Ці новітні технології відстеження і позиціонування дозволяють скоротити час повторної ініціалізації і зменшити простої, викликані втратою супутникових сигналів.

Вбудована технологія відстеження супутникових сигналів Trimble R-Track з функцією Signal Prediction™ підвищує надійність і якість високоточної зйомки в реальному режимі часу шляхом компенсування переривчастих чи слабких сигналів з RTK-поправками. Протокол зв'язку CMRx забезпечує безпрецедентне стиснення даних з поправками для оптимізації смуги пропускання і повноцінного використання всіх видимих супутників.

Середні квадратичні похибки вимірювань [29]:

- при диференціальному кодовому GNSS зніманні:
 - в плані $0,25 \text{ м} + 1 \text{ мм} / \text{км}$;
 - по висоті $0,50 \text{ м} + 1 \text{ мм} / \text{км}$;
- при диференціальному позиціонування SBAS зазвичай $< 5 \text{ м}$;
- при високоточних статичних вимірюваннях:
 - в плані $3 \text{ мм} + 0,1 \text{ мм} / \text{км}$;
 - по висоті $3,5 \text{ мм} + 0,4 \text{ мм} / \text{км}$;
- при статичному і швидкому статичному зніманні:
 - в плані $3 \text{ мм} + 0,5 \text{ мм} / \text{км}$;
 - по висоті $5 \text{ мм} + 0,5 \text{ мм} / \text{км}$;
- при кінематичному GNSS зніманні з постопрацюванням (PPK):
 - в плані $8 \text{ мм} + 1 \text{ мм} / \text{км}$;
 - по висоті $15 \text{ мм} + 1 \text{ мм} / \text{км}$;
- при кінематичному зніманні в реальному часі від одиночної бази не далі 30 км:
 - в плані $8 \text{ мм} + 1 \text{ мм} / \text{км}$;
 - по висоті $15 \text{ мм} + 1 \text{ мм} / \text{км}$;
- при мережевому RTK зніманні:
 - в плані $8 \text{ мм} + 0,5 \text{ мм} / \text{км}$;
 - по висоті $15 \text{ мм} + 0,5 \text{ мм} / \text{км}$;

Час ініціалізації зазвичай менше 8 секунд і залежить від атмосферних умов, відбитих сигналів, перешкод і супутникової геометрії. Надійність ініціалізації зазвичай більше 99,9%. Цей параметр контролюється безперервно.

Точність і надійність отриманих результатів залежать від багатьох факторів: наявності відбитих сигналів і перешкод, геометрії супутників і стану атмосфери. Для отримання найкращих характеристик рекомендується надійно встановлювати прилад в місцях з відкритим небосхилом, вільних від електромагнітних завад і відбитих сигналів, проводити спостереження при оптимальній

геометрії супутникового сузір'я, слідувати загальноприйнятим правилам проведення високоточних геодезичних вимірювань, встановлюючи тривалість спостережень в залежності від довжини базової лінії. Для отримання високої точності вимірювань в статичному режимі на базових лініях більше 30 км необхідно використовувати точні ефемериди і тривалі сеанси спостережень (до 24-х годин).

Час роботи від внутрішньої батареї:

- 2,5 години при роботі на прийом та передачу з модемом 450 МГц ;
- 4,7 годин при роботі із сотовим модемом.

Порядок виконання робіт з Trimble R6:

1. Кабелем з'єднати контролер з приймачем Trimble R6.
2. В мобільному телефоні активувати функцію «портативна точка доступу (режим модема)» та включити Bluetooth чи USB канали.

3. Включити WiFi на контролері. Контролер повинен знайти всі мобільні мережі, в т.ч. нашого телефона.

4. Активувати меню зйомки «Survey controller»

5. Вибрати (ввести) постачальника супутникових даних: функція «налаштування – профіль з'єднання» та вибрати користувача, підключеного до System solution, ZAKPOS чи іншої мережі.

6. Вибрати режим знімання (RTK, Static): «налаштування – стилі знімання».

7. Створити проект та заповнити вихідні дані: «файл-створити проект». Необхідно ввести назву проекту, вибрати систему координат (як правило, з бібліотеки), зону, модель геоїда, де вираховувати координати (як правило, на площині).

8. Безпосередньо спостереження: «знімання». Стають доступними види знімання:

- Запуск знімання;
- Вимірювання точок;
- Швидкі коди;
- Неперервне знімання;
- Пікет зі зміщенням;
- Розмічення;
- Калібрування на місцевості.

Після закінчення знімання результати можуть бути записані в

проект, якщо такий не був вибраний раніше

1.3. Наземні лазерні сканери

Наземний лазерний сканер (рис.1.6) має два сервомотори – один для обертання всього приладу навколо вертикальної осі, а другий для обертання зорової труби. В ньому забезпечено автоматичне управління процесом вимірювання, випромінювання сигналу відбувається безперервно через короткі проміжки часу.

Наземні лазерні сканери набувають все більшої популярності в інженерно-геодезичних роботах. Причинами цього є висока ступінь автоматизації вимірювального та обчислювального процесів, простота управління приладом, висока продуктивність праці та зниження вартості цих приладів. Хоч на сьогодні наземні лазерні сканери залишаються одними з найдорожчих геодезичних приладів.

До лазерних сканерів інженерно-геодезичного використання висувають такі вимоги:

- вони повинні бути портативними, на період проведення вимірювань їх необхідно нерухомо встановити на штатив чи інше кріплення, а їх переміщення не повинно бути трудомістким;
- дальність вимірювань – до 1000 м;
- сантиметрова точність визначення координат;

- кутовий діапазон роботи: 360° по горизонталі, 320° по вертикалі (для сканерів призначених для роботи в приміщенні, так званих «інтер'єрних сканерів»), та 120° по вертикалі (для сканерів призначених для роботи на вулиці, так званих «фасадних сканерів»).

Точність визначення координат точки та відповідно точність відтворення поверхні сканування залежить від таких факторів:

- точності вимірювання віддалі до точки;
- точності визначення напрямку поширення променя в горизонтальній та вертикальній площинах;
- розміру лазерної плями в точці відбиття (чи кута



Рис. 1.6. Лазерний сканер
LEICA SCANSTATION
P30

розходження лазерного променя);

- форми та коефіцієнта відбивання поверхні об'єкта;
- частоти сканування;
- довжини хвилі вимірювального коливання.

Для обміру архітектурних форм споруди необхідний сканер з коротшим діапазоном роботи, але з вищими характеристиками точності, а для обміру в кар'єрі потрібен сканер з більшим діапазоном вимірювань, але меншої точності.

Основні параметри наземних лазерних сканерів:

- кут розходження лазерного променя від 0,12 до 0,30 мрад;
- швидкість сканування від 10 000 до 1200000 точок/1 сек;
- наявність двохосового компенсатора з точністю компенсації $\pm 0,5''$;
- наявність вбудованих однієї чи двох фото-, або відеокамер;
- інтегрований ГНСС – модуль (не у всіх моделях) для просторової прив'язки даних;

Весь процес знімання за допомогою лазерного сканера, як і будь-якого геодезичного знімання містить такі етапи:

- планування знімальних робіт;
- польове сканування;
- підготовка даних;
- калібрування (прив'язка, орієнтування) даних;
- формування тримірної моделі хмари точок;
- контроль якості отриманих результатів

Під час планування знімальних робіт:

- визначають для яких цілей виконують сканування та особливі вимоги до результатів;
- аналізують територію знімання для визначення оптимальних місць установки сканера, для перевірки, чи всі елементи об'єкту будуть відтворені при скануванні (на них попаде промінь, відіб'ється та повернеться до сканера). Для вирішення цього завдання можна використати спеціальні відбивальні елементи: плівки-відбивачі, призми різноманітної форми;
- підбирають сканера з необхідними параметрами;
- визначають яким чином будуть зберігати великі масиви даних.

Перед польовим скануванням необхідно:

- встановити сканер на штатив та привести в робоче положення;

- підключити сканер до нетбука (сканер може виконувати вимірювання самостійно, але збереження та інтерпретація величезного обсягу виміряних точок відбувається на польовому комп'ютері), розблокувати сканер, включити його, почекати, поки нагріється, запустити програму на нетбуці та встановити зв'язок із сканером;

- налаштувати сканер, тобто вибрати область сканування, задати роздільну здатність сканування та активувати первинні (апаратні) фільтри.

Більшість сучасних сканерів мають вбудовані фото- чи відеокамери, якими передають на монітор сканера чи нетбука те, що «бачить сканер, а вірніше його камера», тому вибір області сканування зводиться до обведення зображення об'єкта на моніторі сканера (чи нетбука).

Роздільна здатність для польових сканерів характеризується віддаллю між сусідніми точками на об'єкті знімання. Ця віддаль не повинна бути меншою за розмір плями променя (розмір точки) на об'єкті, інакше це приведе до появи додаткового шуму в даних сканування. В різних моделях сканерів передбачені різні варіанти вибору роздільної здатності. Як правило, кут між сусідніми точками є величиною постійною, тому якщо задати віддаль до об'єкта (до найдалшої точки), то програма обчислить роздільну здатність [35].

Первинні чи апаратні фільтри дозволяють під час сканування відокремити точки за діапазоном та рівнем відбитого сигналу. В першому випадку будуть виключені точки, які виходять за межі заданої області сканування чи за кутом чи за віддаллю, а в другому випадку видаляють точки з низькими значеннями відбитого сигналу, бо вони недостатньо точні.

Сам процес сканування майже повністю автоматизований. Після натискання кнопки «старт» сканер переміщує промінь до початкової точки і починає збирати точки. Ці точки зберігають у ноутбуці або у внутрішній пам'яті сканера. Тривимірну модель об'єкта можна візуалізувати на екрані ноутбука чи на екрані сканера. Після сканування краще перевірити результати сканування на непередбачені перешкоди. Є можливість вказувати певні частини об'єкта, які потребують сканування з вищою роздільною здатністю [35].

Якщо прив'язка даних сканування до єдиної державної системи координат здійснюється через планово-висотні

розпізнавальні знаки, то їх необхідно сканувати з вищою роздільною здатністю, ніж весь об'єкт. Сканування таких знаків може бути здійснено або до, або після основного сканування. В якості розпізнавальних знаків можна використовувати штучні або природні чітко розпізнавані об'єкти. Програма дає можливість автоматично виявляти штучні марки, тому що вони виготовлені з матеріалу, що має вищий коефіцієнт відбивання, ніж точки об'єкта, хоч такі автоматичні засоби часто дають помилковий результат. Після закінчення сканування необхідно перевірити чи в повному обсязі виконано сканування. Це краще зробити за моделлю на нетбуці.

Підготовку даних слід розпочинати над копією основного файлу, завжди слід зберегти резервну початкову копію. Під час підготовки даних відбраковують грубі помилки та видаляють шуми.

Якщо знімання об'єкта виконують з кількох станцій, то всі отримані дані необхідно привести до єдиної системи координат. Цей процес по аналогії з фотограмметрією називають прив'язкою (орієнтуванням) даних. На мій погляд, найбільш вдала назва – калібрування даних.

Калібрування даних можна здійснити кількома способами:

- використання інтегрованого модуля ГНСС,
- створення опорної локальної мережі, координати пунктів якої визначені в єдиній системі, встановлення сканера на цих пунктах та його орієнтування на сусідні пункти;
- використання системи планово-висотних розпізнавальних знаків, закріплених на об'єкті, чи поруч з ним, координати цих знаків необхідно визначити в одній системі координат та при скануванні з кожної станції необхідно захопити не менше 4-х розпізнавальних знаків.

Кінцевим результатом обробки даних сканування можуть бути:

- очищені тримірні хмарні дані,
- стандартні 2D-креслення (наприклад, плани, перерізи);
- повністю 3D-текстуровані моделі для покрокової анімації [21].

Основні області, де застосування лазерних наземних сканерів є найбільш ефективним:

- топографічне знімання ділянок місцевості для створення тримірної моделі місцевості, особливо в містах;

- архітектурні обміри;
 - виконавче знімання будівельних об'єктів;
 - моніторинг залізниць;
 - топографічні знімання та визначення обсягів порід в кар'єрах;
 - деформаційний моніторинг об'єктів: дамб, мостів;
 - знімання об'єктів нафтогазовидобувної галузі.
- Для моніторингу стану ліній електропередач (ЛЕП) теж ефективно використовуються сканувальні лазерні системи, але не наземного, а повітряного базування.

1.4. Геодезичні роботи на будівельному майданчику за допомогою навігатора розміщення Topcon LN-100

LN-100 (рис. 1.7) поєднує в собі функції роботизованого тахеометра та лазерного нівеліра-автомата, а це означає, що роботи на будівельному майданчику – знімання та розміщення – можна виконувати одному операторові. Система не вимагає традиційних трьох підйомних гвинтів – в робоче положення прилад встановлюється автоматично після включення за допомогою роботизованого механізму та високочутливих датчиків лінії виска. Управління роботою LN-100 можна здійснювати з будь-якого пристрою з операційною системою Android, на якому попередньо встановлено безкоштовний додаток MAGNET Construct. Для підвищення ефективності розмічувальних робіт застосовується спеціальна штанга з відбивачем (рис. 1.8), на якій присутня конструкція, що дозволяє легко пересувати відбивач у трьох взаємоперпендикулярних напрямках.

Для задання системи координат та орієнтування приладу в будь-якій



Рис. 1.7. Topcon LN-100

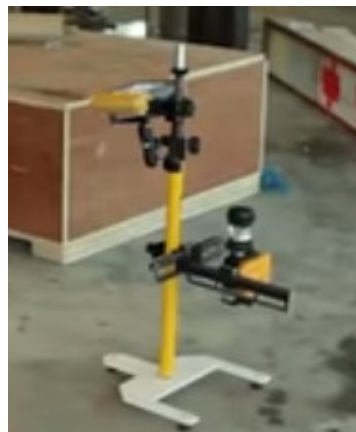


Рис. 1.8. Штанга з відбивачем

точці встановлення передбачено 4 варіанти прив'язки:

- вільна станція за двома відомими пунктами;
- прилад стоїть у довільній точці: перший вихідний пункт, який спостерігаємо, фіксує початок системи координат, а другий – задає напрямок однієї з координатних осей;
- прилад встановлюють на відомому пункті та орієнтують на інший вихідний пункт;
- точка стояння приладу фіксує початок системи координат, а перший відомий пункт, який спостерігаємо, задає напрямок координатної осі.

Обмін даними з офісом можна здійснювати через електронну пошту чи через «хмарний» сервер з мобільного телефону. Діапазон вимірювання віддалі – $0,9 \div 100$ м, перевищення – ± 10 м відносно візирної осі. Пошук та наведення на відбивач здійснюється автоматично системою автопошуку, яка випромінює та приймає два промені різного діапазону: зеленого та червоного. Якщо повернувся зелений промінь, то це означає, що приладу потрібно повернутися за годинниковою стрілкою, якщо червоний – то проти.

Частота оновлення інформації про положення відбивача 20 разів за 1 с.

Технічні характеристики Topcon LN-100 [33]:

- похибка вимірювання віддалі ± 3 мм;
- похибка вимірювання кута $\pm 5''$;
- похибка визначення планового положення $\pm 1,5$ мм/50 м;
- похибка визначення висоти ± 3 мм/50 м;
- діапазон роботи системи автоматичного приведення в робоче положення $\pm 3^\circ$;
- діапазон роботи 2-осьового рідинного компенсатора $\pm 6'$;
- максимальна швидкість обертання $60^\circ/1$ сек;

1.5. Багатопроменеві лазерні прилади

В технічній літературі ці прилади зустрічаються під різними назвами: *лазерний будівник, побудовник площини, лазерний рівень*, дуже часто їх відносять до групи лазерних нівелірів. І не безпідставно, адже вони, як правило, виконують функції нівелірів без числової фіксації відліків та висот.

Ці прилади, в залежності від модифікації та призначення можуть:

- формувати одну вертикальну чи горизонтальну площину;

- формувати дві взаємноперпендикулярні площини;
- формувати дві взаємно перпендикулярні площини – вертикальну і горизонтальну та 5 променів – 3 в горизонтальній площині (вправо, вліво і прямо), 2 у вертикальній (зеніт і надир);
- формувати площини під заданими кутами нахилу.

Ці прилади призначені для виконання детальних розмічувальних робіт на невеликих відстанях (до 50 м), як правило, в середині приміщень, при виконанні будівельних та оздоблювальних робіт.

Всі моделі цих приладів мають маятниковий компенсатор, вони легкі (до 0,5 кг вагою, рідше до 1 кг), можуть працювати з приймачем сигналу або без приймача, забезпечують точність 1 мм / 5м, з діапазоном роботи до 50 м з приймачем, та до 20 м без приймача.

Сучасний представник цього класу приладів – VEGA MIX, який дозволяє отримати максимальний набір елементів: дві взаємно перпендикулярні площини і 5 променів [17]. Він призначений для виконання різноманітних будівельних та оздоблювальних робіт. Лазерний будівник VEGA MIX має в комплекті багатофункціональний магнітний кронштейн, який дозволяє встановлювати його на різні штативи. Для побудови похилих площин прилад забезпечений системою блокування компенсатора. Для роботи з приймачами лазерного випромінювання лазерний будівник VEGA MIX має імпульсний режим. Передбачена індикація перевищення допустимого нахилу – побудовані лінії починають блимати.

Інший представник цього типу приладів – лазерний нівелір Nivel System NL200 (рис. 1.9). Діапазон вимірювань приладу – 300 м з використанням лазерного давача, точність – ± 1 мм на 10 м, діапазон роботи компенсатора – $\pm 5^\circ$, довжина хвилі лазера – 635 нм, кількість лазерних площин – 1, вага – 1,9 кг. Прилад має автоматичну систему індикації при нахилі приладу більше ніж на 5° , чи при випадковому зміщенні (удару) – світлодіод



Рис. 1.9. Лазерний нівелір Nivel System NL200

починає блимати швидко.

Порядок роботи з нівеліром Nivel System NL200:

1. Привести прилад приблизно в робоче положення.
2. Ввімкнути – кнопка «вкл». Активується компенсатор та прилад точно горизонтується, а головка лазера обертається зі швидкістю 600 об/хв. Якщо прилад не самовирівнюється протягом 5 хв, то необхідно вимкнути та знову ввімкнути його.

3. Встановити лазерний давач RD-100 на рейку, а рейку – на початковий репер. Переміщайте давач по рейці так, щоб лазер попав на «0» давача.

4. Перенести давач з рейкою на точку, висоту якої потрібно визначити. Переміщайте давач, доки промінь не потрапить на сенсор давача. Різниця положень давача на рейці дасть перевищення точки над початковим репером.

Для роботи в приміщенні є лазерна мішень, «0» якої необхідно сумістити з лазерним променем та по лінійці відміряти чи відмітити величину відхилення.




1.6. Компактний лазерний віддалемір (рулетка) Disto A5



Рис. 1.10. Лазерний віддалемір Disto A5

Попри малі розміри (148x64x36 мм) та вагу (241 г) лазерний віддалемір DISTO A5 забезпечує унікальний діапазон вимірювань (від 5 см до 200 м) та має широкі функціональні можливості (рис.1.10):

- одиночне вимірювання віддалі (кнопка ***DIST***);
- визначення в безперервному режимі вимірювань максимального (до внутрішнього рогу приміщення) чи мінімального (перпендикуляра до стіни) значення віддалі. Вимірювання здійснюють утримуючи кнопку ***DIST***;
- застосування вмонтованої скоби, яка може фіксуватися у двох положеннях: перпендикулярно до приладу (для вимірювання від виступів) та вздовж приладу (для вимірювання від внутрішнього рогу приміщення). Вбудований давач автоматично визначає положення скоби та враховує його у результаті;

- зміна початкової точки відліку віддалі (кнопка **REFERENCE**): передня площина віддалеміра чи «п'ятка» приладу;
- вибір одиниць вимірювання **MENU/UNIT**;
- додавання (віднімання) постійної величини до виміряної віддалі **MENU/OFFSET**;
- вимірювання віддалі зі штатива, для чого функцією **MENU/TRIPOD** необхідно вибрати відповідну точку відліку віддалі. Для закріплення приладу передбачений отвір з різьбою для гвинта фотоштатива;
- повернення до заводських установок **MENU/RESET\$**;
- визначення площі, периметру та об'єму (кнопка ). Для вимірювання площі – одне натискання кнопки, для об'єму – подвійне, для периметру – утримання кнопки кілька секунд;
- додавання (віднімання) кількох результатів вимірювань, в тому числі, для визначення площі, периметру, об'єму (кнопки «+», «-» та «=>»);
- непрямі вимірювання: віддалі за двома точками, віддалі за трьома точками, перевищення від нормалі до стіни. Вибір варіанту непрямих вимірювань здійснюють кнопкою . Першою точкою у кожному варіанті є точка нормалі до площини;
- відкладання вимірювання в часі (кнопка **TIME**);
- запис в пам'ять та виклик із пам'яті результатів вимірювання (наприклад висоти приміщення) кнопкою ;
- вбудований оптичний візор з 2-х кратним збільшенням для віддалей понад 30 м;
- підсвітка дисплею;
- наявність бульбашкового рівня.

Приладова похибка вимірювання віддалі $\pm 1,5$ мм на 30 м. Рулетка Disto A5 може бути корисною під час розмічувальних та монтажних робіт на будівельному майданчику.

Порядок роботи з Disto A5:

1. Включити прилад (кнопка **ON/DIST**).
2. Встановити, якщо потрібно, скобу в необхідне положення.
3. Активувати необхідну функцію вимірювань.
4. Виконати вимірювання (кнопка **ON/DIST**).

1.7. Знімання підземних комунікацій трасошукачем Digicat 200

Трасошукач Digicat 200 виявляє електромагнітне поле, яке створює електричний струм, що проходить крізь металеву підземну комунікацію. Відшукати пластмасові труби без додаткових пристосувань практично неможливо. Якщо ж при укладанні пластмасових труб прокласти додатково так званий трасувальний дріт, то виявити такі труби буде просто.

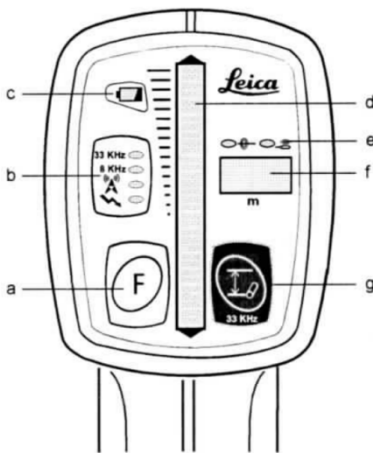


Рис. 1.11. Дисплейна панель трасошукача Digicat 200

Управління трасошукачем Digicat 200 [31] здійснюється за допомогою дисплейної панелі (рис. 1.11). Кнопка **a** – здійснює вибір режиму роботи. Вибраний режим показує відповідний індикатор **b**: Power, Radio, 8 КГц, 33 КГц. Показник заряду акумуляторних батарей **c** починає мигати, коли залишається 20% номінальної величини заряду. Стовпчиковий дисплей **d** індикує реакцію трасошукача на сигнал. Світлодіод індикатора **e** горітиме тоді, коли буде активований один із режимів визначення глибини залягання: лінії чи зонда. Значення глибини

выводиться на дисплеї **f**. Режим вимірювання глибини активується кнопкою **g**. Вимірювання глибини можливе лише, коли трасошукач працює в режимі 33 КГц і використовується разом із генератором Digitex чи зондом Digimouse.

Використання режимів пошуку [31]:

– пасивний режим Power – для трасування комунікацій, в яких присутнє електромагнітне поле – електричних кабелів під напругою: діапазон частот 50Гц – 1,5КГц;

– пасивний режим Radio – для трасування комунікацій, в яких відсутні електромагнітні коливання, або які знаходяться під малою напругою – металевих труб, вздовж яких низькочастотний радіосигнал поширюється як по шляху з найменшим опором

(радіосигнал генерується зовнішнім джерелом і є присутнім на всій підземній території, але опір металевої труби є меншим ніж опір землі): діапазон частот 15 КГц – 30 КГц;

– активний режим 8 КГц – для трасування комунікацій, до яких подається сигнал від генератора Digitex – металевих труб: сигнал цієї частоти дозволяє виявити саме ту трубу, до якої під'єднано генератор, до мінімуму зводиться витік сигналу на сусідні близько розташовані труби;

– активний режим 33 КГц – для трасування комунікацій, до яких подається сигнал від генератора Digitex – металевих труб: сигнал цієї частоти затухає повільніше, його можна виявити на більшій відстані, але можливий витік сигналу на сусідні близько розташовані труби;

– вимірювання глибини залягання – можливе лише в режимі 33 КГц – визначається глибина до центру труби; результат виводиться на табло на протязі 5 секунд; коли використовується генератор, то достатньо один раз натиснути на кнопку «вимірювання глибини», коли застосовують зонд, то кнопку потрібно натиснути і утримувати; в останньому випадку глибина визначається до центру зонда, який лежить, як правило, на дні труби – це важливо, особливо, для труб великого діаметру;

– бездротова передача даних можлива лише в моделях Digicat 200Gis.

Тестування трасошукача Digicat 200 здійснюють тримаючи його у вертикальному положенні та утримуючи кнопку «включення». При тестуванні: звук – постійно, світлодіоди стовпчикового дисплею включаються по-черзі, індикатори режиму роботи включаються по-черзі, значення глибини на табло – 888, індикатор батареї – світиться постійно.

Рекомендований порядок пошуку комунікацій на об'єкті.

1. Вивчіть технічну документацію (якщо така є) про наявні підземні комунікації на об'єкті.
2. Огляньте територію, звернувши увагу на ознаки прокладання підземних комунікацій (нові смуги асфальту, просідання покриття і т.п.).

3. Проскануйте територію в режимі Power (трасошукач автоматично вибирає цей режим та максимальну чутливість) за схемою (рис. 1.12). Під час сканування трасошукач необхідно

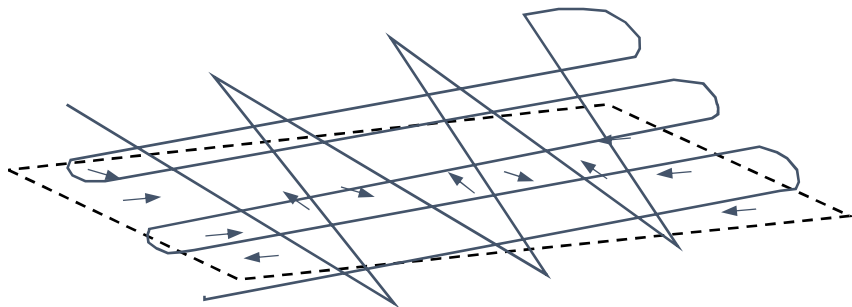


Рис. 1.12. Рекомендована схема обходу території

утримувати у вертикальному положенні, не розгойдувати, якомога ближче до землі. Положення комунікації відповідає максимальному звуковому та світловому (стовпчикового дисплею) сигналу. Для визначення напрямку труби необхідно розташувати трасошукач над трубою і повертати його навколо своєї осі до тих пір, поки покази стовпчикового дисплею не впадуть до мінімуму. Напрямок стовпчикової діаграми вказуватиме напрямок залягання комунікації.

4. Повторіть сканування в режимі Radio для виявлення металевих труб з низькою напругою чи без напруги, які неможливо виявити в режимі Power.

5. Виміряйте глибину залягання комунікації в режимі 33КГц для чого поверніть трасошукач перпендикулярно до напрямку залягання труби, натисніть та відпустіть кнопку «вимірювання глибини». При використанні зонда Digimouse трасошукач необхідно розвернути в напрямку залягання труби, натиснути та утримувати кнопку.

Можливі повідомлення табло вимірювання глибини залягання: «000» – дуже мала глибина, менша 0,3м; «888» – дуже велика глибина, більша 3м; «LO» – дуже слабкий сигнал – виміряти глибину неможливо; «OL» – дуже сильний сигнал – виміряти глибину неможливо; «_ _ _» – функція вимірювання глибини недоступна – не той режим вимірювань.

Генератор Digitex може працювати у двох режимах;

індуктивному та в режимі під'єднання. В обох режимах можлива робота на частоті 8 КГц та 33 КГц. В індуктивному режимі сигнал подається на трубу без фізичного з'єднання. Достатньо розташувати генератор над комунікацією, розвернути так, щоб стрілки на корпусі співпали з напрямком труби та включити генератор. Недоліком цього режиму є те, що сигнал подається на всі комунікації, розташовані поруч. Така процедура буде ефективною, якщо на ділянці знаходиться лише одна комунікація. Режим під'єднання – найбільш ефективний. З'єднувальний штекер під'єднують до генератора. Залізний прут заземлення встромляють в землю якомога далі від труби (в суху погоду рекомендують змочити місце заземлення), червоний дріт під'єднують до комунікації, а чорний – до заземлення. **Застереження з техніки безпеки – не під'єднувати дріт до комунікацій під напругою.** В такому випадку використовують фіксатор, який затискають навколо зовнішньої ізольованої оболонки комунікації.

Трасошукач може комплектуватися такими пристроями: Digitrace – неметалевим трасувальним пристроєм – дротом з наконечником довжиною до 80 метрів та зондом Digimouse. Обидва пристрої призначені для відшукування неметалевих труб. Digitrace під'єднують до генератора та втягують до труби, положення якої необхідно визначити. Пристрій може генерувати сигнал по всій своїй довжині, або лише в наконечнику. В останньому випадку він працює як зонд Digimouse. Лише Digimouse живиться автономно від батарейок. Його втягують до труби за допомогою звичайного тросу для чистки труб.

Технічні характеристики [31]:

- похибка визначення глибини залягання 10% від глибини;
- дальність дії в режимі роботи з генератором – 100 м;
- точність визначення планового положення – не приведена;
- батарея – 6 елементів АА на 30 годин періодичної роботи;
- вага – 2,83 кг;
- робоча температура -20° С +50° С.

1.8. Картографування неоднорідностей в ґрунті та будівельних конструкціях за допомогою георадара

Георадар – локатор підповерхневого зондування – це прилад призначений для виявлення та картографування неоднорідностей в ґрунті та будівельних



Рис. 1.13. Георадар VIY3-700

конструкціях. Основні області застосування та глибина (товщина) зондування залежать від робочої частоти приладу. Так георадар VIY3-700 (фірма «Трансієнт Текноложис», Україна) з робочою частотою 700 МГц (рис. 1.13) може застосовуватися для пошуку інженерних комунікацій, дослідження інженерних споруд (стін і фундаментів будівель), пошуку арматури та закладок в будівельних конструкціях, прорізів в стінах до глибини (товщини) 2,5 м [36]. Георадар VIY3-125 з робочою частотою 125 МГц вже має ширше застосування та більшу глибину зондування – 15 м. Додатково він може обстежувати райони техногенних аварій, шукати пустоти, тріщини, підземні ходи, колектори, джерела витікань з трубопроводів за непрямыми ознаками (області підвищеної вологості).


В георадарі VIY3-070 з робочою частотою 70 МГц та глибиною зондування до 30 м ще сильніше змінюються області застосування:


- геологічне обстеження районів;
- картування рівня ґрунтових вод;
- визначення зон сезонного промерзання, вічної мерзлоти;
- дослідження внутрішньої структури відкритих кар'єрів;
- профілювання родовищ;
- гідрологічні дослідження структури і товщини дна прісних водойм;
- зникає можливість пошуку підземних комунікацій.

Для визначення положення неоднорідностей використовують ГНСС приймач та вимірювальне колесо, які підключаються до антенного блоку георадара. Акумуляторна батарея для полегшення антенного блоку, винесена в окремий бокс, який може розміщуватися в рюкзаку оператора або встановлюватися в складаний візок. Антенний блок, через бокс для акумуляторної батареї, підключається до комп'ютера одним USB кабелем. Таке рішення забезпечує ідеальне узгодження антен з електронікою, високу надійність пристрою і простоту в експлуатації. Для переміщення антенного блоку можна використати спеціальний візок.

Запитання для самоконтролю до розділу 1

1. Чи можна вимірювати віддаль на відбивач електронним тахеометром в режимі вимірювань «без відбивача»?

2. На вимірювання (визначення) якої величини вказують ці значки .

3. Які функції можна виконувати цією кнопкою в тахеометрі TCR 405 ultra? 

4. Від чого залежить дальність безвідбивних вимірювань світловідалеміром?

5. Яке мінімальне та максимальне число вихідних пунктів для «Вільної станції» в TCR 405?

6. Які величини вимірює електронний тахеометр?

7. Що саме потрібно зміщати при розміченні точки по висоті електронним тахеометром?

8. Якою командою в тахеометрі TCR 405 ultra здійснюють вимірювання усіх величин та їх запис в пам'ять?

9. Чи присутні в тахеометрі TCR 405ultra електронні циліндричні рівні?

10. Який порядок винесення проектної точки в натуру тахеометром?

11. Як здійснити зміну режиму вимірювання на відбивач/без відбивача в тахеометрі TCR 405ultra?

12. Для яких цілей використовується прикладна програма «базова лінія» в тахеометрі TCR 405ultra?

13. Для яких цілей вираховуються похибки на кожен вихідний напрямок в програмі «вільна станція» в тахеометрі TCR 405ultra?

14. Для чого вводять значення температури й тиску в процесор електронного тахеометра?

15. Опишіть порядок наземного знімання з тахеометром TCR 405ultra?

16. Як визначити висоту ліхтаря тахеометром TCR 405ultra?

17. Як визначити площу ділянки тахеометром TCR 405ultra?

18. Які основні режими роботи трасошукача Digicat 200?

19. Які підземні комунікації легко відшукати трасошукачем без підключення генератора Digitex?

20. Опишіть порядок роботи з приймачем Trimble R6.

21. Які середні квадратичні похибки забезпечує Trimble R6 при найточнішому статичному зніманні?

22. Від яких факторів залежать точність і надійність

отриманих результатів від Trimble R6?

23. Для чого призначений георадар VIY3-700?

24. Функції яких приладів поєднує в собі навігатор LN-100?

25. Чи присутні три традиційних підйомних гвинти в навігаторі LN-100?

26. Як працює система автоматично пошуку відбивача в навігаторі LN-100?

27. Опишіть основні технічні характеристики навігатора Торсон LN-100?

28. Перерахуйте функціональні можливості сучасних лазерних нівелірів.

29. Які вимоги висувають до лазерних сканерів інженерно-геодезичного використання?

30. Від яких факторів залежить точність визначення координат точки лазерним сканером?

31. Які етапи містить весь процес знімання за допомогою лазерного сканера?

32. Опишіть основні параметри наземних лазерних сканерів.

33. Опишіть порядок роботи з нівеліром Nivel System NL200.

Розділ 2. Особливості проведення інженерно-геодезичних робіт. Опорні інженерно-геодезичні мережі

2.1. Етапи інженерно-геодезичних робіт

Інженерно-геодезичні вишукування – допроектні геодезичні роботи для забезпечення етапу проектування – наймасовіші з них – топографічні знімання.

Інженерно-геодезичне проектування (геодезична підготовка проекту – підготовка вихідних даних для перенесення проекту в натуру, вибір методів та приладів для геодезичних розмічувальних робіт, обчислення позначок, площ, об'ємів робі при вертикальному плануванні будівельного майданчика).

Розмічувальні роботи, метою яких є відшукування на місцевості проектних точок будівельних об'єктів.

Геодезичне забезпечення монтажу конструкцій та обладнання – це етап, на якому здійснюють вивірку в проектне положення будівельних конструкцій та технологічного обладнання геодезичними методами.

Геодезичний моніторинг споруд включає комплекс робіт для спостереження за деформаціями та осіданням конструкцій

2.2. Особливості проведення інженерно-геодезичних робіт в умовах будівельного майданчика

Необхідно виділити такі особливості проведення інженерно-геодезичних робіт:

- виконання, як правило, великомасштабних знімачь;
- необхідність детального знання рельєфу – січення рельєфу 1, 0,5, 0,25 м;
- наявність підземних комунікацій; необхідність знімання підземних комунікацій;
- проектування результатів на поверхню, що має середню висоту будівельного майданчика, а не на поверхню референц-еліпсоїда, тому що поправки за перехід до поверхні референц-еліпсоїда можуть суттєво спотворити в кінцевому результаті параметри споруди;
- найвищої точності вимагають заключні етапи робіт: вивірка конструкцій та технологічного обладнання в проектне положення;
- застосування умовної системи координат для споруди, де

вісь Х співпадає з головною віссю (віссю симетрії) споруди;

– різні споруди мають свої особливості та специфічні вимоги (наприклад, при будівництві тунелю найважливіше значення має поперечний зсув пунктів та осі, а поздовжнім зсувом можна знехтувати; для мостів більшу вимогу ставлять до поздовжнього зсуву);

- створення геодезичних мікромережі, що висуває певні вимоги під час вимірювань (див. п. 2.4);

- постійна небезпека втрати закріплених геодезичних пунктів через земляні роботи, технологічний транспорт, тимчасові споруди;

Поправку за проектування виміряної віддалі на поверхню віднесення

$$\delta_H = \frac{S(H_C - H_0)}{R} \quad (2.1)$$

можна не враховувати, якщо

$$\frac{\delta_H}{S} \leq \frac{1}{200000}, \quad (2.2)$$

а це буде витримано, коли $H_C - H_0 \leq 32\text{ м}$ [9].

Поправку за редукування ліній на площину проекції Гауса-Крюгера

$$\delta_H = \frac{S \cdot Y_m^2}{2R^2} \quad (2.3)$$

можна не враховувати при аналогічній вимозі (2.2), яку буде витримано при $Y_m \leq 20\text{ км}$ [18]. В формулах (2.1)–(2.3) позначено S – виміряна віддаль, H_C – середня висота вздовж лінії, H_0 – висота поверхні віднесення, R – середній радіус Землі, Y_m – середня ордината віддалі.

Системи висот. Під час виконання польових нівелювальних робіт рейки та нівелір (чи відбивач та тахеометр, чи ГНСС-приймач) встановлюють вздовж лінії виска – вздовж напрямку сили тяжіння. Якщо до одного репера А, що розташований на значній віддалі від початку відліку висот, прокласти два нівелірних ходи різними шляхами, то ми отримаємо два різних значення висоти H_A ,

якщо навіть припустити відсутність усіх помилок вимірювання. Причина цього – непаралельність рівневих поверхонь точок, в яких встановлено рейки, через нерівномірності розподілу мас всередині земної кори вздовж шляхів нівелювання. Тому вводять поняття **ортومتричної висоти** точки А H_A^g , яку відраховують вздовж силової лінії від геоїда до т. А, яка не залежить від шляху і значення якої вираховують за формулою

$$H_A^g = \frac{1}{\bar{g}} \int_O^A g dh, \quad (2.4)$$

де dh – вимірне перевищення на кожному відрізку, g – значення сили тяжіння в точці вимірювання, \bar{g} – середнє інтегральне значення сили тяжіння від початку відліку висот до репера А. Якщо виміряти g в кожній точці встановлення рейки (ці виміри потребують величезних затрат праці), то інтеграл у формулі (2.4) можна вирахувати. А от \bar{g} неможливо знайти без знання того, як розподілені маси вздовж лінії виска від геоїда до точки А. До того ж для точок одної і тої ж рівневої поверхні ортометричні висоти будуть різними настільки, наскільки різними є значення \bar{g} в різних точках одної і тої ж рівневої поверхні.

Наступний крок – впровадження **нормальних висот**, які відраховують вздовж напрямку силової лінії в полі нормального потенціалу сили ваги від поверхні квазігеоїда. Для цього ввели поняття нормальної Землі, одна із властивостей якої – гіпотеза про рівномірний розподіл мас всередині Землі. В якості моделі гравітаційного поля нормальної Землі прийняли гравітаційне поле рівневого еліпсоїда обертання. Нормальну висота репера А обчислюють

$$H_A^\gamma = \frac{1}{\bar{\gamma}} \int_O^A g dh, \quad (2.5)$$

де $\bar{\gamma}$ – значення нормальної сили тяжіння у середній точці $H = H_A^\gamma / 2$, яке вираховують за відомими формулами [27].

Нормальні висоти застосовують в практиці інженерно-геодезичних вимірювань. Для переходу до поверхні референц-еліпсоїда необхідно мати дані гравіметричного знімання. Але

значення $\bar{\gamma}$, а отже і значення нормальних висот залежить від широти точки, тому для витягнутих об'єктів (особливо вздовж меридіану) значення нормальних висот можуть суттєво відрізнятися (див. табл. 2.1) [18]. Тому для великих гідротехнічних об'єктів рекомендують застосовувати так звані **динамічні висоти**, які у всіх точках одної і тої ж рівневої поверхні будуть постійними. Динамічну висоту вираховують

$$H_A^d = \frac{1}{\gamma_{45}} \int_O^A g dh, \quad (2.6)$$

де γ_{45} – значення нормальної сили тяжіння на широті 45° . У формулі (2.6) необов'язково використовувати γ_{45} , можна взяти, наприклад, середнє значення нормальної сили ваги для даного району.

Таблиця 2.1

Різниці нормальних висот деяких об'єктів

Об'єкт	Різниця нормальних висот крайніх північної та південної точки (мм)	СКП відповідного нівелірного ходу (мм)
Рибинське водосховище	8,4	6
Озеро Севан	88	4
Озеро Байкал	165	25
Озеро Кукунор	190	10

Створення інженерно-геодезичних мереж та проведення топографічних знімів необхідно виконувати в системі координат УСК-2000 або ж в місцевій системі (МСК), розробленій для кожної області. Характеристики місцевої системи координат для Рівненської області (МСК-56) [22]:

- референс-еліпсоїд – еліпсоїд Красовського (велика піввісь – 6378245 м, стиснення – 1/298.3);
- довгота осевого меридіану – $27^\circ 00' 00''$
- картографічна проекція – Гауса-Крюгера;
- орієнтація осевого меридіану відносно УСК-2000 – $0^\circ 00'$;
- масштабний коефіцієнт вздовж осевого меридіану – 1.00000;
- зміщення ординати початку системи координат – 300000 м;

- система висот – Балтійська 77;
- зміщення місцевої системи відносно Балтійської 77 – 0.000 м;
- значення критерію оптимальності Ейрі – 0.0000291;
- максимальний коефіцієнт спотворення довжин ліній – 1.000224;
- максимальне відносне спотворення довжин ліній – 1/4457;
- максимальний коефіцієнт спотворення площі – 1.000449;
- максимальне відносне спотворення площі – 1/ 2229.

Більш детальні характеристики МСК-56 приведені в додатку 1.

2.3. Сучасні методи створення інженерно-геодезичних мереж

Точність положення пунктів знімальної мережі відносно пунктів ДГМ та мереж згущення характеризується граничною похибкою Δ_{gp}

$$\Delta_{gp} = 0,2M, \quad (2.7),$$

де M знаменник масштабу знімання [1; 7]. Такою похибкою характеризують і графічну точність плану відповідного масштабу.

Часто вимоги до точності розмічувальних робіт є набагато вищими за топографічну точність. У таких випадках створюють спеціальну опорну інженерно-геодезичну мережу.

На територіях міст спеціальні мережі не створюють.

Найбільш ефективними з інженерно-геодезичних мереж є **лінійно-кутові мережі**. Їх популярність та ефективність пояснюється тим, що, з одного боку, вони найбільш жорсткі та надійні, а з іншого – на сучасному виробництві в 99% застосовують електронні тахеометри, в яких функції вимірювання віддалі та кутів об'єднані однією командою. Окреме використання теодолітів та світловіддалемірів зустрічається дуже рідко. **Полігонометричні ходи** – класичний і дуже гнучкий спосіб побудови мереж, який ще використовується на будівельному майданчику. **Вільна станція** – найефективніший сучасний спосіб. Він дозволяє включити до геодезичної мережі зв'язні точки (ріг будинку, центр люку, ріг фрагменту конструкції і т.п.). Рекомендації з використання останнього способу закріплені в ДБН – згідно пункту 5.3.9.5 розділу 2 – Інженерно-геодезичні вишукування ДБН А.2.1-1-2014 «...Центри люків колодязів ... використовуються в якості точок постійного зйомочного обґрунтування» [11]. А в попередній версії

цих будівельних норм за 2008 рік згадувалось про передачу координат «...на ріг капітальних будівель і споруд, люки колодязів підземних комунікацій, опори надземних інженерних мереж і інші чітко означувані предмети ситуації» [10].

Дуже ефективні для передачі координат на великі віддалі та без прямої видимості між пунктами є **супутникові навігаційні системи**. Проблемою у застосуванні глобальних навігаційних супутникових систем в умовах будівельного майданчика є обмежена видимість штучних супутників та вплив відбитих променів на точність визначення координат. З класичних способів слід згадати **будівельна сітку**, але на мій погляд, її можна згадувати в розділі «...історичні способи побудови інженерно-геодезичних мереж».

2.4. Особливості геодезичних вимірювань в інженерно-геодезичних мережах

Основні фактори, які визначають особливості геодезичних вимірювань кутів та довжин ліній в умовах будівельного майданчика:

- короткі сторони в інженерно-геодезичних мікромережах,
- мікроклімат, виділення тепла, диму, пилюки, випаровування, конденсація пари, коливання температури,
- багато перешкод постійних і тимчасових,
- різкі перепади висот,
- наявність джерел електромагнітних полів, які відхиляють промінь і створюють локальні рефракційні поля,
- вібрація,

На основі згаданих факторів можна сформулювати особливості геодезичних вимірювань:

1. Зростає вплив похибок центрування та редукції.
2. Необхідно враховувати вплив нахилу осі обертання труби на точність вимірювання горизонтальних кутів

$$\delta_n = b \frac{\tau}{2} \operatorname{ctgz}, \quad (2.8)$$

де δ_n – похибка кута за нахил осі труби, z – зенітна віддаль, τ – ціна найменшої поділки циліндричного рівня, b – нахил осі в півділеннях рівня.

3. Рекомендовано, щоб візирний промінь проходив не ближче 1 метра від перешкоди.
4. Можливі інтенсивні коливання зображення.
5. Можливі різкі локальні заломлення променю.

2.5. Методи розрахунку точності інженерно-геодезичних робіт

Середня квадратична похибка положення будівельної конструкції в плані m

$$m = m_{\text{мер}}^2 + m_{\text{роз}}^2 + m_{\text{мон}}^2 + m_{\text{виг}}^2 \quad (2.9)$$

залежить від середніх квадратичних похибок: створення розмічувальної мережі – $m_{\text{мер}}$, геодезичного розмічування – $m_{\text{роз}}$, монтажу – $m_{\text{мон}}$ та виготовлення і деформації конструкції – $m_{\text{виг}}$.

m визначають за формулою

$$m = \frac{\delta}{t}, \quad (2.10)$$

де δ – допустиме відхилення будівельної конструкції (для типових та поширених конструкцій ці відхилення приведені в будівельних нормативних документах), t множник, який приймає значення 2, 2.5 та 3 в залежності від категорії будівлі та задається при розробленні проекту виконання робіт.

Для унікальних конструкцій таких як оболонки, мостові переходи, димові труби значення δ відсутні, тому для них застосовують різні методи обґрунтування. Один з таких методів базується на врахуванні похибок усього технологічного ланцюжка на зміну зусиль в конструкції. Тобто похибки положення конструкції розглядають як ще одне окреме джерело появи додаткових зусиль, які виникають в конструкції. Цей підхід видається найбільш природнім, адже розглядає похибки геодезичних робіт не окреме закінчене явище, а як один із факторів, що може негативно впливати на роботу будівельних об'єктів.

Основу методики, розробленої в [3], складає положення: похибки усіх джерел повинні бути такими, щоб зусилля S в конструкції не перевищило опору R з певною дуже високою

імовірністю (надійністю). Така імовірність характеризується Гаусовим показником надійності β_g .

R визначається як максимальне зусилля, котре здатна витримати конструкція, а S – як розрахункове зусилля, що діє на конструкцію

$$\left. \begin{aligned} R &= f_1(R_b, R_S, A_b, A_S, h, L) \\ S &= f_2(p^n, q^n, a, b, \eta) \end{aligned} \right\}, \quad (2.11)$$

де R_b – нормативна призмova міцність бетону, R_S – нормативний опір сталі, A_b, A_S – номінальна площа перерізу бетону і арматури відповідно, p^n, q^n – нормативні постійне і тимчасове навантаження відповідно, a, b, h, L – номінальні геометричні характеристики конструкції, η – параметр, що описує проектне положення конструкції.

m_S – знаходиться як корінь квадратного рівняння

$$m_S^2 - 2r_{RS}m_Rm_S + m_R^2 - \left(\frac{R-S}{\beta_g} \right)^2 = 0, \quad (2.12)$$

де m_R – середня квадратична похибка опору, $r_{R,S}$ – коефіцієнт кореляції похибок опору та зусилля.

Ступінь корельованості похибок опору та зусилля мало досліджена. Тому для практичних розрахунків приймемо, що $r_{R,S} = 0.5$. З врахуванням цього корінь рівняння (2) запишеться

$$m_S = \frac{1}{2} \left(m_R \pm \sqrt{4 \left(\frac{R-S}{\beta_g} \right)^2 - 3m_R^2} \right), \quad (2.13)$$

де m_R є функцією параметрів опору та їх середніх квадратичних похибок

$$m_R = f_3(R_b, m_{R_b}, R_S, m_{R_S}, A_b, m_{A_b}, A_S, m_{A_S}, L, m_L, h, m_h) \quad (2.14)$$

m_S в свою чергу теж є схожою функцією аргументів та їх середніх

квадратичних похибок. Після обчислення m_S за формулою (3) за ним визначають середню квадратичну похибку проектного положення конструкції m_η , а через неї Δ .

Тому загалом можна записати, що допустима похибка геодезичного забезпечення є функцією таких аргументів

$$\delta_\Gamma = f(p^n, m_{p^n}, q^n, m_{q^n}, R_b, m_{R_b}, R_S, m_{R_S}, A_b, m_{A_b}, A_S, m_{A_S}, a, m_a, b, m_b, h, m_h, L, m_L, \beta_g) \quad (2.15)$$

Для визначення точності окремих технологічних етапів спорудження застосовують два принципи впливу похибок окремих джерел:

- принцип рівновеликих впливів, за яким

$$m_{\text{мер}} = m_{\text{роз}} = m_{\text{мон}} = m_{\text{виг}} = m_1, \quad (2.16)$$

і

$$m_1 = \frac{m}{2}. \quad (2.17)$$

- та принцип мізерності впливу, за яким виділяють окрему похибку чи групу похибок та ставлять вимогу, що ця група мала мізерний вплив на загальну похибку. Наприклад, одна група

$$m_{\text{мер}}^2 + m_{\text{роз}}^2 = m_p^2, \quad (2.18)$$

а друга

$$m_{\text{мон}}^2 + m_{\text{виг}}^2 = m_m^2, \quad (2.19)$$

і вимога

$$m_p = \frac{m_m}{3}, \quad (2.20)$$

тоді

$$m_m = \frac{3m}{\sqrt{10}}, \quad (2.21)$$

а

$$m_p = \frac{m}{\sqrt{10}}. \quad (2.19)$$

В середині групи може також використовуватись один із згаданих принципів.

Теорія розмірних ланцюгів розглядає сукупність розмірів, які утворюють замкнений контур чи фіксований розмір. Розрізняють складові ланки та замикаючу ланку ланцюга. Ланками розмірного ланцюга виступають віддалі між осями, чи розміри збірних елементів. Зазор між елементами розглядають як окрему ланку розмірного ланцюга.

Загальне рівняння розмірного ланцюга

$$l_0 = f(l_1, l_2, l_3, \dots, l_n), \quad (2.22)$$

де l_0 – розмір замикаючої ланки, l_i – розмір складової ланки.

Середня квадратична похибка замикаючої ланки розмірного ланцюга запишеться без врахування коефіцієнта кореляції похибок окремих ланок

$$m_{l_0}^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial l_1}\right)^2 m_{l_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial l_2}\right)^2 m_{l_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial l_n}\right)^2 m_{l_n}^2, \quad (2.23)$$

де m_{l_i} – середня квадратична похибка окремої ланки.

Запитання для самоконтролю до розділу 2

1. Які точки за рекомендаціями ДБН можна використовувати в якості пунктів геодезичної мережі на будівельному майданчику?

2. Який тип інженерно-геодезичних мереж (за переліком вимірних величин) є найбільш ефективний на будівельному майданчику?

3. Для яких цілей використовують теорію розмірних ланцюгів?

4. В яких системах координат необхідно створювати інженерно-геодезичні мережі?

5. Які принципи співвідношення похибок окремих етапів застосовують при розрахунку точності технологічних етапів спорудження конструкції?

6. Назвіть етапи інженерно-геодезичних робіт в порядку їх виконання?

7. Вкажіть основні особливості проведення інженерно-геодезичних робіт в умовах будівельного майданчика.

8. Вкажіть особливості геодезичних вимірювань в умовах

будівельного майданчика.

9. Вкажіть основні фактори, що визначають особливості геодезичних вимірювань кутів та довжин ліній в умовах будівельного майданчика.

10. Чому результати геодезичних вимірювань на будівельному майданчику проєктують на поверхню, що має середню висоту будівельного майданчика, а не на поверхню референц-еліпсоїда?

11. Які складові середньої квадратичної похибки загального положення будівельної конструкції в плані?

12. Від яких параметрів залежить значення допустимого відхилення від проєктного положення будівельної конструкції в методиці, яка базується на врахуванні впливу похибок монтажу на зміну зусиль конструкції?

13. Яка вимога лежить в основі методики нормування точності всіх етапів спорудження конструкції, що базується на аналізі напружено-деформованого стану конструкції?

14. Від яких параметрів залежить середня квадратична похибка опору конструкції?

15. Від яких параметрів залежить середня квадратична похибка зусилля в конструкції?

16. В чому полягає принцип рівновеликого впливу похибок різних джерел при розрахунку точності інженерно-геодезичних робіт?

17. В чому полягає принцип мізерності впливу похибки окремого джерела при розрахунку точності інженерно-геодезичних робіт?

18. Що таке ортометрична висота?

19. Що таке нормальна висота?

20. Що таке динамічна висота?

21. З якої причини використовують динамічні висоти?

22. Яка гіпотеза покладена в поняття нормальної Землі?

23. Що прийнято в якості моделі гравітаційного поля нормальної Землі?

24. Що таке теорія розмірних ланцюгів? Для чого вона використовується?

25. Від чого залежить середня квадратична похибка замикаючої ланки розмірного ланцюга?

26. Охарактеризуйте зв'язок двох координатних систем: УСК-2000 та МСК-56.

Розділ 3. Інженерно-геодезичні вишукування

3.1. Склад інженерно-геодезичних вишукувань

Під інженерно-геодезичними вишукуваннями завжди розуміли комплекс інженерно-геодезичних робіт із збирання топографічної інформації, топографічного знімання місцевості, створення топографічних планів, тобто робіт, які забезпечують наступні етапи – етапи проектування споруди, її будівництво та моніторингу.

Саме такий склад інженерно-геодезичних вишукувань передбачався ДБН А.2.1-1-2008, виданим у 2008 році:

- інженерно-геодезичні та топографічні знімання з точністю масштабів 1:5000; 1:2000; 1:1000; 1:500; 1:200 та точніше; інженерно-гідрографічні, трасувальні роботи, геодезичні стаціонарні спостереження;

- створення опорних геодезичних мереж, які включають геодезичні мережі спеціального призначення для будівництва та експлуатації будівель і споруд;

- створення топографічних планів, профілів, інших топографо-геодезичних матеріалів, призначених для розроблення проектів, робочої документації та будівництва об'єктів, для оцінювання техногенного навантаження, розроблення заходів з інженерної підготовки та захисту територій;

- створення інженерно-топографічної основи і отримання геодезичних даних для виконання інших видів інженерних вишукувань, у тому числі геотехнічного контролю, обстеження ґрунтів основ та фундаментів будівель і споруд, розроблення заходів з інженерної підготовки, захисту й локального моніторингу територій, а також авторського нагляду в процесі будівництва;

- оновлення інженерно-топографічних планів вишукувань минулих років. У випадку, якщо **загальний обсяг змін перевищує 35 відсотків знімальні роботи виконують у повному обсязі.**

Натомість у другій редакції цих ДБН за 2014 рік [11] до складу інженерно-геодезичних вишукувань включили ще:

- роботи з розмічування, геодезичний моніторинг будівель та споруд в процесі будівництва й експлуатації;

- виконавче (контрольне) знімання закінчених будівництвом об'єктів, інженерних мереж (комунікацій).

Але ці види робіт відносяться до етапів будівництва, і на мій погляд, не можуть бути віднесені до етапу вишукувань.

В той же час, автори дещо розширили поняття вишукувань в другій редакції [11], включивши до них «...геодезичні спостереження за небезпечними техногенними та природними процесами, зсувами, підтопленням, ерозією берегів, деформаціями земної поверхні...». Таке доповнення може бути прийнятним, якщо ці роботи виконуються до етапу проектування споруди.

ДБН А.2.1-1-2014 [11] передбачає складання програми виконання інженерно-геодезичних вишукувань, в якій визначають склад, об'єм та технологію виконання робіт із урахуванням категорії складності об'єкта будівництва та категорії складності умов виконання робіт. За умовами виконання інженерно-геодезичні вишукування поділяються на 5 уніфікованих категорій складності, які наведені у додатку 2. Відповідно до цих категорій визначають і вартість вишукувальних робіт.

Фактори віднесення до категорій складності :

- ухил місцевості в діапазоні від 0,01 до більше 0,07;
- пересіченість місцевості: від відкритої рівнинної до гірської закритої;
- щільність забудови: від 20% до більше 50%;
- рух транспорту: від незначного руху до головних магістралей великих міст;
- інженерні комунікації: від 3-х видів до понад 10.

Для інженерно-геодезичних вишукувань дозволяється використовувати топографічні плани минулих років без додаткового оновлення, якщо з дати реєстрації плану пройшло:

- не більше ніж десять років для масштабів 1:5 000, 1:2 000;
- не більше ніж один рік масштабів 1:1 000, 1:500, 1:200 й точніше [11].

Дуже приємна вимога: матеріали інженерно-геодезичних вишукувань повинні зберігатись виключно у цифровій формі [11].

3.2. Великомасштабні інженерно-геодезичні знімання

Якість і точність топографічних планів визначається «Інструкцією з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98)»: середні помилки чітких контурів відносно точок знімальної основи не повинні

перевищувати 0,5 мм (в лісі і в горах – 0,7 мм) в масштабі плану, на забудованих територіях середня помилка взаємного положення контурів не повинна перевищувати 0,4 мм [16].

Середні помилки рельєфу (коефіцієнт переходу від середніх помилок до середніх квадратичних – 1.25) відносно найближчих точок знімальної мережі не повинні перевищувати 1/4 січення рельєфу при кутах нахилу до 2°, у всіх інших випадках – 1/3 січення рельєфу. В лісі допуск збільшується у 1,5 рази [16].

Відсоток помилок, які перевищують згадані помилки, але менші їх подвійного значення повинен бути меншим 10%, кількість помилок, які перевищують подвоєне граничне значення не повинна бути більшою 5% [16]. За цими двома критеріями оцінюється якість топографічних планів.

Стадії проектування визначаються ДБН А.2.2-3-2014:

- техніко-економічне обґрунтування (ТЕО);
- техніко-економічний розрахунок (ТЕР);
- ескізний проект (ЕП);
- проект (П);
- робочий проект (РП);
- робоча документація (Р) [12].

Чим детальніша стадія, тим крупнішого масштабу плану вона потребує. Плани масштабу 1:10000 з січенням рельєфу 1-2 м використовуються для вибору укрупнених варіантів проекту траси чи споруд. Плани масштабу 1:5000 з січенням 1-0,5 м – для розробки генпланів сіл та будівництва промислових комплексів. Плани масштабу 1:2000 з січенням 0,5-1 м використовуються для розробки генпланів міст. Плани масштабу 1:1000 з січенням 0,5 м використовують для складання проектів. І, на кінець, плани масштабу 1:500 з січенням 0,25-0,5 м – для складання робочих проектів та робочої документації.

Для великих масштабів (1:500) обов'язковим є знімання підземних комунікацій.

Типи мереж:

- самотічні трубопроводи (мережі водовідведення побудовані із залізобетонних труб – підключення трасошукача неможливе);
- напірні трубопроводи (мережі водо-, газо- теплопостачання, побудовані із металевих труб – можливе підключення трасошукача);
- кабельні мережі (електрика, телефон, інтернет, сигналізація

– кабелі самі генерують електромагнітне поле, за яким трасошукачем можна відшукати кабель).

На забудованих територіях середні квадратичні похибки планового положення комунікації відносно фундаменту не повинні перевищувати 0,1-0,15 м. На незабудованій території – 0,5м. Точність визначення висотного положення залежить від дотримання проектних висот при укладанні. Найвищої точності вимагають водовідвідні мережі (допустима похибка визначення висот лотків сусідніх колодязів – 5-10 мм). Менш точно можна визначати висоту напірних трубопроводів, а ще грубіше – силових кабелів.

Поруч з традиційними способами великомасштабних топографічних знімаль, широко використовуються відносно нові, такі як:

- лазерне повітряне сканування та комбінація останнього з аерофотозніманням з повітряних суден та з безпілотних літальних апаратів;
- наземне лазерне сканування в населених пунктах для побудови тримірної моделі місцевості разом із тримірними моделями будівель та споруд.

3.3. Трасування лінійних споруд

Вісь лінійної споруди, яку будуть будувати, називають трасою. Елементи траси: план, поздовжній профіль та поперечні профілі. В плані траса – це прямі ділянки, з'єднані горизонтальними кривими, на профілі – траса – це прямі ділянки з різним ухилом, з'єднані вертикальними кривими. Криві присутні на трасах автомобільних та залізничних доріг. Траси ліній електропередач, інженерних мереж не мають кривих.

Етапи геодезичних вишукувальних робіт при трасуванні:

- а) передпроектні – для техніко-економічного обґрунтування траси;
- б) проектні для розробки проекту;
- в) вишукування перед будівництвом для складання робочого проекту.

а) На етапі передпроектних робіт виконують камеральні вишукування матеріалів минулих років лише на складних ділянках (гори, ріки, поблизу великих споруд). Нерідко проводять оглядове аерофотознімання. Ціль цього етапу – вибір укрупненого напрямку

траси, оцінка попередніх обсягів робіт, вартості, термінів. На картах 1:50 000 – 1:25 000 (для складних ділянок 1:10 000) прокладають кілька **варіантів напрямку** траси, будують поздовжні профілі та плани, оцінюють кожен з варіантів, вибирають один варіант та формують завдання на розробку проекту.

б) Вибір оптимального **варіанту траси**: намічають кілька варіантів проходження траси вздовж вибраного напрямку та смуги для аерофотознімання. Якщо дозволяє бюджет, то проводять аеророзвідку і відкидають неконкурентні варіанти. Ефективним тут буде використання **безпілотних літальних апаратів**, які значно здешевлюють аеророзвідку. Виконують аерофотознімання та отримують плани 1:10 000 із січенням 5 м (в горах – 1:5000). Якщо необхідно виконати реконструкцію існуючої автомобільної чи залізничної дороги, то знімання території ефективно вести за допомогою **мобільної картографічної системи**, яку можна встановити на автомобіль, квадроцикл, мотовсюдихід, сігвей (електричний самобалансований самокат) чи поїзд. До складу цих систем входять спеціальний мобільний лазерний сканер, цифрова фотокамера, інерційно-навігаційна система та ГНСС – приймач. Виробники цих мобільних систем гарантують сантиметрову точність визначення координат точок. Може виконуватись знімання наземними методами. Створюють геодезичну опорну мережу ГНСС методами. Пункти закріплюють центрами на віддалі 10-30 метрів від краю обочини через 1 км вздовж траси. В якості пунктів використовують мітки (хрести) з фарбою на опорах ліній електропередач. Роботи з проектування виконують у програмних пакетах, таких як «Credo», «Автокад», «Microstation» та інших. Виконують польове обстеження вибраного варіанту траси. Виносять в натуру кути поворотів траси, точки переходів та перетинів від найближчих твердих контурів. Вибраний варіант проходить узгодження. Розробляють технічний проект.

в) Польове трасування:

- виносять в натуру точне положення траси, тепер кути повороту траси не визначають і не закріплюють;
- розбивають пікетаж на прямих ділянках через 100 – 10 м в залежності від класу (значення) автомобільної дороги та технічного завдання;
- розбивають колові та перехідні криві (на кривих пікети розбивають через 10 – 5 м, а на кривих з малим радіусом через 5-

2,5 м в залежності від технічного завдання). Використання електронного тахеометра та *методу вільної станції* робить цю процедуру розмічення швидкою, а більша кількість пікетів дозволяє краще відтворити проектну криву;

- виконують нівелювання траси, закладають репери;
- закріплюють трасу на місцевості дерев'яними та залізобетонними стовпами, під час реконструкції існуючої дороги пікети закріплюють дюбелями та фарбою на асфальті;
- прив'язують трасу до пунктів ДГМ;
- виконують знімання переходів та перетинів

Траса може проходити по кількох 6° чи 3° – градусних координатних зонах, тому необхідно перераховувати координати точок на стику зон.

Кожна крива характеризується своїми параметрами: R – радіус колової кривої, φ – кут повороту траси, T – тангенс, K – крива, B – бісектриса, D – домір та головними точками $ПК$ – початок кривої, $СК$ – середина кривої та $КК$ – кінець кривої, які добре відомі читачеві з курсу топографії.

Для компенсації відцентрової сили на криволінійних ділянках залізничних колій зовнішня рейка має більшу висоту у порівнянні з внутрішньою. На автомобільних дорогах влаштовують віражі – криві, які мають односкатний поперечний профіль з нахилом до центру кривої.

Кінцеві точки колової кривої з'єднують із прямими ділянками за допомогою перехідних кривих (рис. 3.3), радіус яких плавно змінюється від нескінченності (в точці примикання до прямої) до R (в точці примикання до початку колової кривої). Такі перехідні криві називають клотоїдами.

Радіус кривини перехідної кривої (клотоїди) визначається:

$$\rho = \frac{C}{s}; \quad (3.1)$$

$$C = \frac{av^2}{ig}, \quad (3.2)$$

де a – ширина дороги, v – швидкість руху, g – прискорення сили тяжіння, i – поздовжній ухил віражу, s – віддаль ($s=0$ в точці початку перехідної кривої № 1 (чи закінчення для перехідної кривої № 2) – на стику з прямою ділянкою).

Облаштування перехідних кривих може бути реалізовано у двох варіантах:

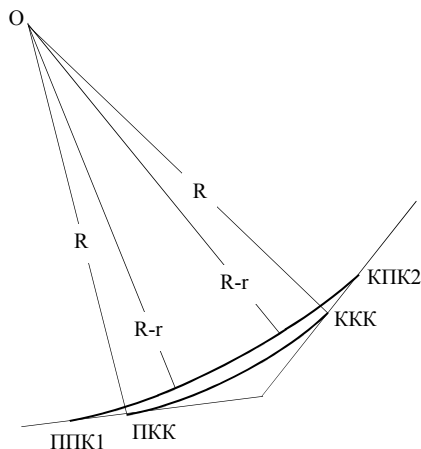


Рис. 3.1. Облаштування перехідних кривих:

ППК1 – початок перехідної кривої № 1. КПК2 – кінець перехідної кривої № 2.

ППК – початок кругової кривої, КПК – кінець кругової кривої

- без зміщення центру колової кривої, тоді радіус основної колової кривої зменшують на величину r (рис. 3.1)

$$r = p \cdot \cos \varphi \quad (3.3)$$

- із зміщенням центру колової кривої на величину p

$$p = \frac{L^2}{24R} \left(1 - \frac{L^2}{112R^2} \right), \quad (3.4)$$

де L – довжина перехідної кривої (довжина відгону віражу). Тоді радіус основної кривої залишається незмінним. В більшості країн Європи використовують другий варіант [1].

Переломи траси у вертикальній площині з'єднують вертикальними кривими. Для забезпечення видимості на дорозі радіуси опуклих вертикальних кривих вибирають більшими (1000-30000 м), а ввігнутих – меншими (100-3000 м) [1]. Залізничі вимагають більших радіусів вертикальних кривих для забезпечення безпеки та плавності руху поїздів. На автошляхах намагаються

не суміщати вертикальні та горизонтальні криві, бо це приводить до утворення поверхні двоякої кривини, що значно погіршує умови щеплення коліс автомобіля з покриттям дороги та може приводити до виникнення аварійних ситуацій. Вертикальні криві описують тими ж параметрами, що горизонтальні: радіус колової кривої, тангенс, крива, бісектриса, домір. Лише замість кута повороту траси використовується різниця $\Delta V = V_2 - V_1$ кутів нахилу (чи ухилів) сусідніх ділянок вертикального перелому траси V_2 та V_1 .

Зустрічається облаштування вертикальних перехідних кривих в метрополітенах, швидкісних магістралях, швидкісних залізницях [1]. Розбивку пікетажу на вертикальних кривих виконують через 10-5 м. Метод вільної станції з електронним тахеометром з використанням функції «розмічення» забезпечує одночасне відшукування планового і висотного положення пікета і є найбільш масовим способом розмічення. Через здешевлення приймачів ГНСС-сигналів, останні також все частіше застосовують для розмічення пікетажу траси.

Запитання для самоконтролю до розділу 3

1. Радіус кривини перехідної кривої є величина постійна чи змінна?
2. Що таке перехідна крива? Яка її відмінність від колової кривої?
3. Від чого залежить значення радіуса кривини перехідної кривої?
4. В якому випадку знімальні геодезичні роботи виконують у повному обсязі, а коли достатньо оновлення існуючих планів?
5. Які види робіт входять до інженерно-геодезичних вишукувань?
6. Від яких факторів залежить вартість робіт з інженерно-геодезичних вишукувань?
7. Як контролюється точність топографічних планів згідно Інструкції з топографічного знімання?
8. Перерахуйте основні типи інженерних мереж, які необхідно показувати на топографічних планах масштабу 1:500.
9. Перерахуйте основні параметри колової кривої.
10. Назвіть етапи геодезичних вишукувань при трасуванні лінійних споруд.
11. Що таке віраж?
12. Для чого облаштовують перехідні криві?
13. Вкажіть основні стадії проектування споруди.
14. Чи допускається при контролі якості топографічних планів певний відсоток помилок, які перевищують граничне значення?
15. Траси яких лінійних споруд не мають колових кривих?
16. В трасах яких лінійних споруд обов'язково присутні колові криві?

Розділ 4. Геодезичні розмічувальні роботи

4.1. Геодезична розмічувальна мережа для будівництва

Призначення розмічувальних робіт – знайти на місцевості положення проектних точок (точок споруди). Розмічування відбувається від пунктів спеціальних розмічувальних мереж. Як правило, точність побудови таких мереж є вищою за точність геодезичної мережі, яку створюють для топографічного знімання.

Застосовують умовну систему координат споруди, або групи споруд. Пункти планової і висотної розмічувальних мереж стараються суміщати.

Найбільш поширені методи створення розмічувальних мереж: ГНСС-визначення, лінійно-кутові мережі. Пункти таких мереж закріплюють, або чіткими контурними точками сусідніх раніше збудованих споруд (якщо такі є поруч), або центрами, які закладають нижче глибини промерзання перед початком будівництва. Кількість пунктів – 3-6, в залежності від розмірів та конфігурації будівлі. Якщо в наявності немає безвідбивного тахеометра, то на існуючих будівлях можна закріпити плівки-відбивачі, які слугуватимуть опорними пунктами.

Геодезичну розмічувальну мережу поділяють на:

- зовнішню (її створює замовник);
- внутрішню (її створює підрядник (виконавець)).

Зовнішня закріплюється поза спорудою. Служить для виконання робіт нульового циклу:

- виносу головних, основних і детальних осей;
- планування будівельного майданчика;
- підготовки котловану;
- монтажу фундаменту.

Внутрішню створюють на перекритті 1-го поверху, а потім передають (проектують) на кожен монтажний горизонт. Згідно ДБН В.1.3-2:2010 для будівель та споруд нижче 9 поверхів внутрішню розмічувальну мережу не створюють [13].

Будь-якому будівництву передусє процедура винесення меж ділянки на місцевості. Координати меж ділянки зафіксовані в електронній базі земельного кадастру. На жаль, часто трапляються випадки з помилками в зареєстрованих координатах, що викликає накладання сусідніх ділянок. Тому підряднику будівництва для винесення меж ділянки варто скористатися послугами тієї фірми,

яка готувала технічну документацію для реєстрації ділянки в системі земельного кадастру.

У виміряні лінії не вводять поправки за перехід на поверхню референц-еліпсоїда та за приведення до площини проекції, бо ці поправки можуть спотворити геометричні параметри споруди. В гірських районах та при значних перепадах висот на будівельному майданчику лінії приводять на поверхню, що має середню висоту території будівельного майданчика.

Для типових споруд розмічувальну мережу закріплюють на сусідніх вже існуючих будинках та спорудах, а проектне положення елементів визначають вільною станцією безвідбивним тахеометром.

Розрізняють **головні**, **основні** та **детальні осі**. Головні – це осі симетрії споруди. Їх розмічують лише для великих споруд. Основні осі визначають контури споруди (А-А, В-В, 1-1, 4-4 на рис. 4.1).

Буквами позначають поздовжні осі, цифрами – поперечні (рис. 4.1). Осі можуть мати криволінійну форму. В сучасних умовах ведення геодезичних робіт осі дуже рідко закріплюють на місцевості. Координати осей заносять в пам'ять тахеометра, а потім їх відновлюють вільною станцією на кожному монтажному горизонті. Дуже часто будівельники просять відновити не самі осі, а визначити проектне положення конструктивних елементів (колон, стін, опалубки).

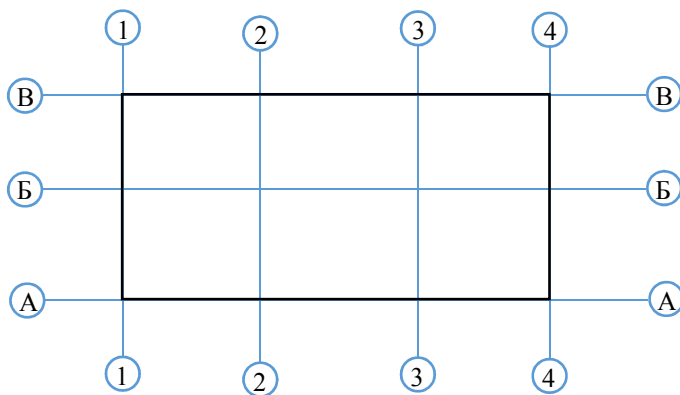


Рис. 4.1. Позначення осей будівлі

Червона лінія – лінія, що проходить по зовнішній стороні

фасадів будинків, обернених до проїзної частини. Червона лінія встановлюється архітектурною службою і наноситься на генплан. Фасади нових будинків можна зміщувати лише в середину кварталу (до проїзної частини не можна).

Будівельний нуль – це проектна відмітка чистої підлоги першого поверху – фіксується ризикою на сусідніх вже збудованих будинках.

Похибка вимірювання у процесі геодезичного контролю точності геометричних параметрів будівель (споруд), у тому числі при виконавчому зніманні інженерних мереж, не повинна перевищувати 0,2 величини допустимого відхилення [13].

4.2. Точність розмічувальних робіт

Точність розмічувальних робіт в залежності від розмірів та складності будівельного майданчика та будівлі регламентується ДБН В.1.3-2:2010 – Геодезичні роботи в будівництві і обмежується середніми квадратичними похибками лінійних, кутових та нівелірних вимірів, а також вимірів при передачі координат по висоті (див. табл. 4.1, 4.2) [13].

Значення середніх квадратичних похибок з цих таблиць вибираються за наявності однієї з характеристик, приведених в стовпчику 1. Якщо ж є дві і більше характеристик, то перевага надається тій, яка вимагає вищої точності. Точність геодезичних побудов при будівництві висотних, експериментальних, унікальних і складних об'єктів і монтажі фундаментів технологічного устаткування рекомендують визначати розрахунками на основі спеціальних технічних умов і з урахуванням особливих вимог до допусків, що передбачаються проектом.

На наш погляд, набір похибок, якими характеризується точність розмічувальних робіт, був продубльований з попередніх нормативних будівельних документів. Зараз широко застосовуються нові – супутникові методи побудови мереж, які не вписуються в дані, приведені в таблицях 4.1, 4.2. Крім того, якщо у інженера є можливість лінійні вимірювання виконувати трохи точніше, а кутові трохи грубіше, ніж вимагає [13], але при цьому забезпечити необхідну точність визначення координат мережі, то напевно він має право проводити вимірювання з такою точністю.

Якщо використовувати метод вільної станції, то координати осей на будь-якому монтажному горизонті, можна визначити

практично з такою ж точністю, як і на вихідному. Така ж ситуація буде при використанні супутникових вимірювань, якщо на місці робіт достатній сегмент відкритого неба (відсутні перешкоди – сусідні будинки і т.п.) над головою. Тому похибки останнього стовпчика таблиці 4.2, а саме – передачі точок осей по вертикалі – втрачають зміст.

На мій погляд, достатньо було б привести обмеження на похибку визначення планових та висотних координат, а підбір приладів та методів вимірювання здійснить виконавець самостійно.

Таблиця 4.1

Точність побудови геодезичної розмічувальної мережі будівельного майданчика

Характеристика об'єктів будівництва	Середні квадратичні похибки побудови геодезичної мережі будівельного майданчика, не більше		
	кутові вимірювання	лінійні вимірювання	нівелювання на 1 км ходу
Підприємства та групи будівель на ділянках площею більше 1 кв. км; окремі будівлі площею більше 100 000 кв. м.	3"	2 мм для $L \leq 50$ *м, $L / 25000$ для $L > 50$ м	3 мм (програма II класу)
Підприємства та групи будівель на ділянках площею менше 1 кв. км; окремі будівлі площею від 10 000 до 100 000 кв. м.	5"	5 мм для $L \leq 50$ м, $L / 10000$ для $L > 50$ м	5 мм (програма III класу)
Окремі будівлі площею менше 10 000 кв. м.; дороги, інженерні мережі в межах забудованої території	10"	10 мм для $L \leq 50$ м, $L / 5000$ для $L > 50$ м	10 мм (програма IV класу)
Дороги, інженерні мережі в межах незабудованої території; земляні споруди, вертикальне планування землі	30"	25 мм для $L \leq 50$ м, $L / 2000$ для $L > 50$ м	20 мм (програма технічного)

*L – довжина, що вимірюється

Таблиця 4.2

Точність побудови зовнішньої і внутрішньої геодезичних розмічувальних мереж будинку (споруди) й інших розмічувальних робіт

Характеристика будівель, споруд, конструкцій	Середні квадратичні похибки побудови внутрішньої та зовнішньої розмічувальних мереж будинку, не більше				
	лінійні вимірювання, мм	кутові вимірювання	нівелювання на станції, мм	передача позначок на монтажний горизонт, мм	передача точок осей по вертикалі, мм
Металеві конструкції, залізобетонні конструкції з само-фіксацією у вузлах, будівлі висотою понад 100 м або з прогоном 30-36 м	1 для $L \leq 15$ м, $L/15000$ для $L > 15$ м	5"	1	$2 + 10 \cdot H$ *	$1 + 2 \cdot H$
Будинки вище 15 поверхів, будівлі висотою 73,5-100 м або з прогоном 18-30 м	2 для $L \leq 20$ м, $L/10000$ для $L > 20$ м	10"	2	$4 + 15 \cdot H$	$2 + 3 \cdot H$
Будинки до 15 поверхів, будівлі висотою до 73,5 м або з прогоном 6-18 м	3 для $L \leq 15$ м, $L/5000$ для $L > 15$ м	15"	3	$6 + 20 \cdot H$	$3 + 5 \cdot H$
Будинки до 5 поверхів, будівлі висотою до 15 м	4 для $L \leq 20$ м, $L/5000$ для $L > 20$ м	30"	5	$10 + 50 \cdot H$	$5 + 10 \cdot H$

* H – різниця позначок двох монтажних горизонтів виражена в сотнях метрів (100 м = 1)

Крім того є ще один нормативний документ яким регламентується точність розмічувальних робіт, а саме ДСТУ-НБВ.1.3-1:2009 «Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Виконання вимірювань, розрахунків та контроль точності геометричних параметрів. Настанова» [15]. Згідно цього документу допуск визначається за формулою

$$\Delta = i \cdot K, \quad (4.1)$$

а

$$i = \alpha \cdot L, \quad (4.2)$$

де i – одиниця допуску, K – коефіцієнт точності, α – коефіцієнт, що залежить від виду розмічувальних робіт, L – середня для обраного інтервалу відстань (довжина) чи висота розмічування.

Цим документом виділяються такі види геодезичних розмічувальних робіт, кожному з яких призначаються значення коефіцієнта α та клас точності:

- розмічування точок і осей в плані ($\alpha = 1,0$, клас точності 1);
- передавання точок і осей по вертикалі ($\alpha = 0,4$, клас точності 2);
- розмічування створних точок ($\alpha = 0,25$, клас точності 3);
- розмічування висотних позначок на відстані L ($\alpha = 0,6$, клас точності 4);
- передавання висотних позначок по вертикалі H ($\alpha = 0,25$, клас точності 5);
- розмічування взаємно перпендикулярних осей ($\alpha = 0,4$, клас точності 6).

В свою чергу коефіцієнт точності K залежить від класу точності (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Значення коефіцієнта точності K в залежності від класу точності розмічувальних робіт [15]

Клас точності	1	2	3	4	5	6
Коефіцієнт точності K	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5

На кінець потрібно роз'яснити як визначається L . Для кожного виду розмічення сформовані інтервали можливих відстаней (висот). Для розмічування точок і осей в плані, передавання точок і осей по вертикалі, розмічування висотних позначок, передавання висотних позначок по вертикалі 2500-4000-8000-16000-25000-40000-60000-100000-160000 мм, для розмічування створних точок 4000-8000-16000-25000-40000-60000-100000 мм, а для розмічування взаємно перпендикулярних осей 8000-16000-25000-40000-60000-100000-160000 мм. Якщо, наприклад, точка осі розмічена на відстані 45 м від пункту, то «ми попадаємо» в інтервал 40000-60000, середина якого 50 м і отже

$L=50$. Ці роботи відносяться до першого виду «розмічування точок і осей в плані», а отже $K=0,25$, а $\alpha = 1,0$ і $\Delta = 12,5$ мм.

4.3. Елементи розмічувальних робіт

Основні елементи:

- побудова проектного кута;
- відкладання проектної віддалі;
- відшукування проектного перевищення (висоти).

Детальніше ознайомитися із цими елементами розмічувальних робіт та способами їх побудови можна в [1; 7].

4.4. Сучасні методи винесення в натуру осей споруд

Основні класичні (історичні) методи:

- спосіб прямокутних координат;
- **спосіб полярних координат з вільною станцією;**
- спосіб прямої кутової засічки;
- спосіб лінійної засічки;
- спосіб створеної засічки;
- **спосіб ГНСС (GNSS) – розмічування.**

З використанням електронних тахеометрів та приймачів супутникових навігаційних систем на виробництві використовують **спосіб полярних координат з вільною станцією та спосіб ГНСС – розмічування.**

З використанням електронного тахеометра номери та координати проектних точок вносяться в пам'ять тахеометра. Розмічувальні елементи програма розраховує сама. Особливості виконання розмічувальних робіт безвідбивним тахеометром TCR 405 ultra приведені в п. 1.7.

Спосіб GNSS – розмічування можливо реалізувати лише із приймачами, що мають функцію RTK – режиму визначення координат в реальному часі (зразу в полі). Один приймач встановлюється на вихідному пункті – базовий, другий – приблизно в проектній точці. Роверний приймач прийдеться зміщувати кілька разів до отримання проектної точки з необхідною точністю. Хорошою допомогою тут будуть вказівки на екрані роверного приймача, якщо активувати функцію «винесення в натуру».

4.5. Детальні розмічувальні роботи

Найбільш вживаними способами виконання детальних розмічень від закріплених точок основних осей раніше були такі: створні та лінійні проміри. Зараз – ***спосіб полярних координат з вільною станцією з електронним тахеометром***. За цих умов знизилась вимога до кількості пунктів геодезичної розмічувальної мережі, а її конфігурація може бути довільною. Електронний тахеометр дозволяє виконати розмічування одразу в просторі. Паперовий варіант розмічувального креслення як такий сьогодні не використовується. Цифрова модель проекту готується в камеральних умовах та завантажується в тахеометр, спеціалізована програма якого розраховує розмічувальні елементи автоматично. Лазерні вказівники, вбудовані в тахеометр, значно спрощують процес розмічування. Ефективними можуть бути роботизовані електронні тахеометри.

Унікальним для розмічувальних робіт є прилад фірми Торсон LN-100 (див. п. 1.4), який поєднує в собі функції роботизованого тахеометра та лазерного нівеліра-автомата, а це означає, що роботи на будівельному майданчику – знімання та розмічення – можна виконувати одному операторові.

Розмічування для малих відстаней (до 50 м) ефективно виконувати за допомогою багатопроменевих лазерних приладів, які в технічній літературі називають ще: *лазерний будівник, побудовник площини, лазерний рівень* та відносять до групи лазерних нівелірів (див. п. 1.5). І не безпідставно, адже вони, як правило, виконують функції нівелірів без числової фіксації відліків та висот. Переваги цих приладів: висока точність 1-3 мм на короткій відстані, доступність, простота в роботі, низька вартість самих приладів.

4.6. Метод вільної станції

При виконанні топографічних знімальних та розмічувальних робіт традиційними способами створюють локальну опорну мережу. В умовах будівельного майданчика завжди існує небезпека втрати пунктів цієї мережі. Уникнути цієї небезпеки і відмовитись від цілого ряду рутинних операцій дозволяє метод вільної станції (рис. 4.2). Застосування цього методу також дуже ефективно при зніманні невеликої за розміром території (наприклад, знімання

окремої земельної ділянки чи групи ділянок). Реалізувати цей метод можливо при використанні електронного тахеометра та при видимості двох-трьох вихідних пунктів (рис. 4.2). А, Б, В – вихідні пункти з відомими (X, Y, Н) координатами; 1, 2, 3, 4 – проектні точки (або точки, координати яких необхідно визначити), Т-станція – (місце встановлення тахеометра).

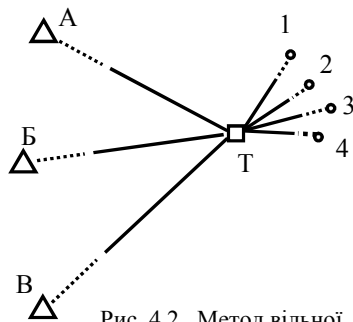


Рис. 4.2. Метод вільної станції

При цьому методі локальну розмічувальну мережу не створюють, що дозволяє економити час і кошти. Електронний тахеометр встановлюють в будь-якій точці (Т), але в безпосередній близькості до точок 1÷4, за умови видимості мінімум двох вихідних пунктів. Координати тахеометра (Т) визначають з оберненої засічки (кутової, лінійної, лінійно-кутової або їх комбінацій) безпосередньо в полі. Проектні координати точок можна загрузити в пам'ять тахеометра з комп'ютера чи ввести вручну з клавіатури. В режимі слідкування знаходиться грубе положення цих точок, котре уточнюють в режимі «точно».

Переваги методу вільної станції полягають в тому, що:

- локальну розмічувальну мережу не створюють;
- тахеометр не потрібно центрувати;
- всі обчислення виконують у полі прикладними програмами;
- зростає надійність перенесення точок в натуру.

4.7. Способи визначення місцеположення тахеометра в методі вільної станції

Обернена кутова засічка. Вимірюваними величинами є горизонтальні кути (рис. 4.3). Умови застосування засічки такі: мінімальна кількість видимих вихідних пунктів – 3, віддалі від тахеометра до вихідних пунктів є великими, або якщо з якихось причин неможливо виміряти віддалі до вихідних точок.

Обернена просторова кутова засічка двох пунктів. Виміряними величинами є горизонтальний кут β і два вертикальних кути ν_1, ν_2 (рис. 4.4, а). Умови застосування: видимість лише двох вихідних пунктів при неможливості виміряти віддалі до них. В сучасних тахеометрах горизонтальні та вертикальні кути вимірюються одночасно однією командою, тому

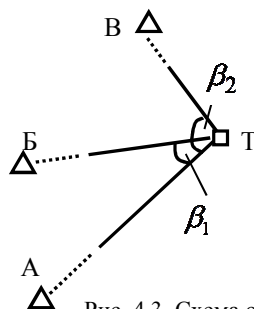


Рис. 4.3. Схема оберненої кутової засічки

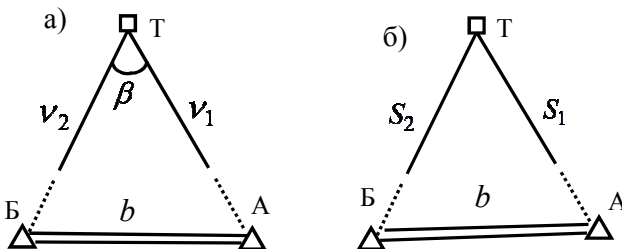


Рис. 4.4. Схема оберненої засічки: а) просторової кутової, б) лінійної

для електронних тахеометрів можливий лише цей варіант кутової засічки – просторової.

Обернена лінійна засічка. Вимірювані величини – довжини ліній S_1 і S_2 (рис. 4.4, б). Умови застосування: видимість лише двох вихідних пунктів та зручність вимірювання віддалей до них. Варто відзначити, що лінійні вимірювання забезпечують найвищу точність визначення координат на сьогоднішній день. При використанні електронного тахеометра цей тип засічки реалізувати неможливо, бо при вимірюванні віддалі автоматично вимірюються горизонтальні та вертикальні кути і таким чином засічка перетворюється на лінійно-кутову.

Обернена просторова лінійно-кутова засічка. Ця засічка є найбільш надійною, ефективною і поширеною при використанні електронного тахеометра. Вимірювані величини – горизонтальний кут β , довжини ліній S_1 і S_2 та вертикальні кути – ν_1, ν_2

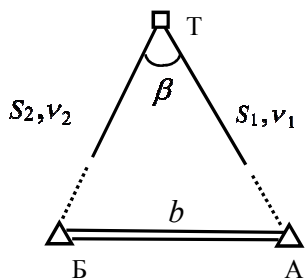


Рис. 4.5. Схема оберненої просторової лінійно-кутової засічки

(рис. 4.5). Кількість вимірів – 5, кількість невідомих – 3. Тому виникає задача зрівноваження результатів, як в плановому, так і у висотному положеннях.

Спільне використання лінійних і кутових вимірів гарантує якісне визначення положення тахеометра. При цьому стають м'якшими вимоги до геометрії засічки [4]. На рис. 4.6 показані ізолінії похибок планового положення тахеометра (в мм), вираховані за формулою

$$m_P = \sqrt{m_X^2 + m_Y^2}, \quad (4.3)$$

де m_X , m_Y – середні квадратичні похибки визначення координат.

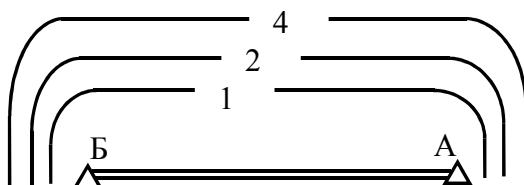


Рис. 4.6. Ізолінії похибок планового положення тахеометра

Як видно з рисунка, точність визначення координат не залежить від величини кута засічки на визначуваному пункті, а лише від віддалі до вихідних пунктів А, Б [4]. Надійне значення координат отримують навіть при нульовому значенні кута засічки.

В більшості сучасних тахеометрів є можливість виключати з результатів обчислень окремі виміри (кутів чи ліній) на певні напрямки, якщо неможливо виміряти віддаль до якогось вихідного пункту, чи інженер не впевнений в точному наведенні на ціль. Але при використанні електронного тахеометра, якщо є можливість виміряти віддаль до пункту, то й завжди буде можливість виміряти вертикальний та горизонтальний кути, а це свідчить про те, що у переважній більшості застосовуються лінійно-кутові побудови та рідше кутові. Окремо лінійні засічки з електронним тахеометром не застосовуються.

Запитання для самоконтролю до розділу 4

- 1. Як співвідносяться точність побудови розмічувальних мереж на будівництві та точність геодезичної мережі, яку створюють для топографічного знімання?*
- 2. В якій системі координат створюють розмічувальну мережу на будівництві?*
- 3. Чи ефективно суміщати пункти планової та висотної розмічувальних мереж?*
- 4. В якому випадку внутрішню розмічувальну мережу не створюють?*
- 5. Чи вводять у виміряні лінії (на будівельному) поправки за перехід на поверхню референц-еліпсоїда та за приведення до площини проєкції? Відповідь обґрунтуйте.*
- 6. Яким видом засічки найчастіше визначають положення тахеометра в методі вільної станції?*
- 7. Що таке червона лінія генплану?*
- 8. Що таке будівельний нуль?*
- 9. На які групи за призначенням поділяють геодезичну розмічувальну мережу будівництва?*
- 10. Перерахуйте типи осей будівельної споруди.*
- 11. Перерахуйте основні елементи розмічувальних робіт.*
- 12. Вкажіть сучасні методи винесення в натуру точок (осей) споруд.*
- 13. Опишіть метод вільної станції.*
- 14. Від чого залежить точність визначення координат вільної станції електронним тахеометром?*
- 15. Який тип оберненої засічки практично не використовуються з електронним тахеометром?*
- 16. Перерахуйте основні переваги методу вільної станції.*
- 17. Від яких характеристик будівельних об'єктів (груп будівель) залежить точність побудови геодезичної розмічувальної мережі будівельного майданчика?*
- 18. Від яких характеристик будівель (споруд, конструкцій) залежить точність побудови геодезичної розмічувальної мережі будівлі?*
- 19. Яку функціональну можливість повинен мати GNSS-приймач, щоб ним можна було виконувати розмічувальні роботи?*

Розділ 5. Геодезичне забезпечення монтажних робіт

5.1. Геодезична підготовка до монтажних робіт

Етапи геодезичної підготовки:

- виконавче знімання фундаментів та випусків арматури;
- виправлення недопустимих відхилень;
- розмічування та закріплення монтажних (технологічних) осей (зараз цей етап виконують дуже-дуже рідко для відповідальних, унікальних конструкцій чи технологічного обладнання);
- фіксування на будівельних конструкціях і технологічному обладнанні міток осей та координатних міток;
- підготовка розмічувальних елементів для встановлення.

Монтажні (технологічні) осі – паралельні основним осям, розміщені на певній віддалі від останніх та використовуються для того, щоб зробити зручнішим процес монтажу. Ці осі можуть співпадати з краєм конструкцій чи обладнання. Але, як вже згадувалося, монтажні осі використовуються зараз рідко.

Також втратив свій зміст останній етап – підготовка розмічувальних елементів для встановлення. Обчислення цих елементів перебрали на себе спеціалізовані програми для проектування, а в останній період ці функції доступні в електронних тахеометрах. Необхідно мати лише значення проектних координат точок будівельних конструкцій чи технологічного устаткування.

Ціль геодезичного забезпечення монтажних робіт – встановити в проектне положення будівельні конструкції: колони, балки, плити перекриття, стіни та технологічне обладнання з необхідною точністю.

Основні види геодезичних робіт при монтажі:

- встановлення і вивірка в плані;
- встановлення і вивірка по висоті;
- встановлення і вивірка по вертикалі.

5.2. Способи встановлення конструкцій в плані

В історичній геодезичній літературі виділяють два такі основні способи встановлення конструкцій в плані: оптичний та струнний. Останній передбачав використання струни, як основного елемента, по відношенню до якого встановлювали в проектне

положення конструкції. З розвитком геодезичних електронних та лазерних приладів цей спосіб фактично втратив свою значимість.

На виробництві застосовується **спосіб оптичного візування**. Суть його полягає в тому, що на одній точці осі встановлюють прилад на іншій – марку (відбивач), візують на марку, і не повертаючи прилад (лише нахилиючи трубу) візують на монтажну поверхню та відмічають (олівцем, маркером) мітку для встановлення конструкції. При використанні електронних приладів з лазерним променем, останній видно на монтажній поверхні. Так здійснюють вивірку вздовж однієї осі. Необхідно виконати аналогічні процедури вздовж іншої осі. Часто застосовують ротаційний лазерний нівелір, що задає видиму площину, яку можна розвернути у горизонтальній або вертикальній площинах. Модифікацією способу візування є бокове нівелювання, коли проектне положення конструкцій знаходиться на невеликій відстані від площини візування. Дуже ефективним видається застосування способу бокового нівелювання для розмічення осі підкранової балки на консолях колон (рис. 5.1), адже в даному випадку домінуючу негативну роль відіграють лише похибки поперечного зміщення рейкової колії, тоді як невеликі зміщення вздовж осі практично ніяк не впливатимуть на якість експлуатації підкранової колії.

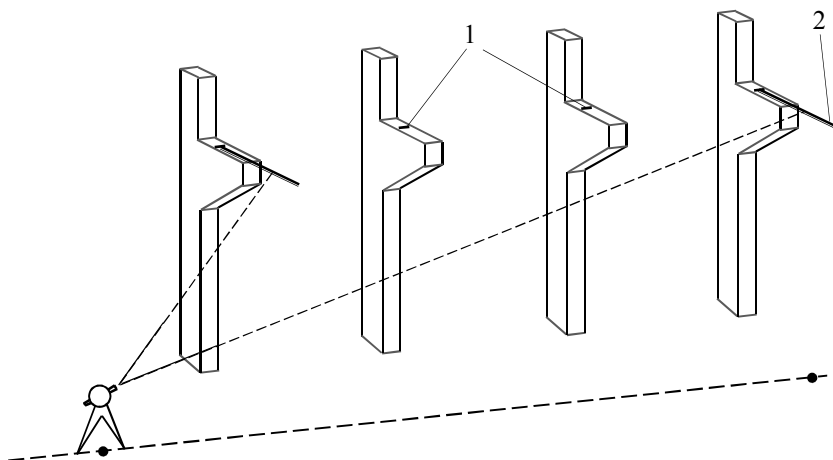


Рис. 5.1. Розмічування осі підкранової балки способом бокового нівелювання. 1 – риски осі, розмічені на консолі колони. 2 – лінійка (рейка) з міліметровими поділками

Тут використовують лінійку чи рейку (2) з міліметровими поділками і пересувають її так, щоб відлік по лінійці для усіх елементів був однаковим і рівним проектному. Тоді по другому краю лінійки намічають риску осі.

Середня квадратична похибка способу візування:

$$m_{\text{опт.віз}}^2 = m_{\text{вд}}^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{р}}^2 + m_{\text{віз}}^2 + m_{\text{фок}}^2 + m_{\text{зовн}}^2 + m_{\text{сум}}^2, \quad (5.1)$$

де індексами позначено відповідну середню квадратичну похибку: *вд* – вихідних даних, *ц* – центрування приладу, *р* – редукції (центрування марки), *віз* – візування, *фок* – перефокусування приладу, *зовн* – зовнішніх умов, *сум* – суміщення точки (грані) конструкції з візирною віссю.

Зараз все частіше конструкції в плані встановлюють за допомогою електронного тахеометра, застосовуючи метод вільної станції (див. пп. 4.6, 1.1.3) та вбудовані програми розмічення (див. п. 1.1.5). Для цього необхідно мати проектні координати точок конструкції. Ефективним буде використання навігатора розмічення Торсон LN-100 (див. п. 1.4), який поєднує функції роботизованого тахеометра та лазерного нівеліра-автомата.

5.3. Вивірка прямолінійності технологічного обладнання

Ця процедура застосовується для високоточної вивірки технологічного обладнання в проектне положення. Раніше використовувалися такі способи:

- колімаційний (похибка 0,2-0,3 мм на 400 м);
- автоколімаційний (похибка вимірювання кута 1-2");
- авторефлекційний (похибка 0,1 мм на 30 м);
- дифракційний;
- інтерференційний (похибка 0,02 мм на 100 м).

Детально ознайомитися з ними можна в [1; 7; 18].

В сучасних умовах застосовують електронні прилади, що формують видимий лазерний промінь з малим кутом розходження. Цей промінь і служить лінією (віссю) для вивірки обладнання вздовж прямої лінії (див. п. 1.5).

Похибка геодезичних вимірювань під час вивірки технологічного обладнання не повинна перевищувати 0,1-0,2 граничного відхилення обладнання від проекту [1; 13].

Прямолінійність є основним критерієм при монтажі

технологічного обладнання. Але крім цього параметру важливими є такі характеристики, які необхідно витримати в процесі монтажу: горизонтальність, вертикальність, площинність, паралельність, перпендикулярність, нахил, кривина, поверхневість. Як частковий випадок прямолінійності виступає такий показник як співісність конструкцій.

5.4. Контроль висотного положення конструкцій

Раніше застосовувалися два основні способи: геометричне нівелювання та гідростатичне нівелювання. З впровадженням високоточних електронних тахеометрів часто використовують зараз і тригонометричне нівелювання. При геометричному нівелюванні використовуються підвісні рейки, які підвішуються на верх конструкції. Основна робоча формула при цьому способі

$$b = H_{pen} + a - H_{np}, \quad (5.2)$$

де b – проектний відлік по рейці що знаходиться на конструкції, H_{pen} – висота нівелірного репера, від якого вивіряють конструкцію, H_{np} – проектна висота конструкції, a – відлік по рейці на вихідному репері. Для контролю висотного положення може використовуватись лазерний ротаційний нівелір.

Гідростатичний нівелір передбачає дві скляні трубки, з'єднані між собою. Рідина в трубках встановлюється на одній висоті у випадку, коли рівні тиск і температура в точках розміщення трубок. Гідростатичний нівелір забезпечує точність 0,5 мм при візуальній фіксації рівня рідини.

Коли в планове положення конструкція вивіряється за допомогою електронного тахеометра, то і її висотне положення вже будуть визначати цим же приладом. Застосований спосіб – тригонометричне нівелювання. При коротких віддальх та з високоточним тахеометром цей спосіб забезпечує високу (міліметрову та субміліметрову) точність визначення висотного положення.

5.5. Перевірка вертикальності конструкцій

Для перевірки вертикальності конструкцій застосовують такі способи:

- за допомогою будівельного рівня;
- за допомогою виска;
- похилого візування – за допомогою колімаційної площини приладу (теодоліта, тахеометра)
- приладом вертикального проектування;
- бокове нівелювання – видозмінений спосіб похилого візування;

Сучасні будівельні рівні мають довжину до 2 метрів та забезпечують похибку – 0,5 мм/м, що відповідає відносній похибці 1:2000. Для колон висотою до 8 метрів похибка становитиме 4 мм, що більше ніж достатньо для цих конструкцій згідно вимог [26].

Висок забезпечує встановлення у вертикальне положення конструкції з відносною похибкою 1:1000, що вдвічі грубіше рівня. Якщо ж врахувати зручність вивірки, то перший спосіб має значні переваги. Актуальним використання виска може бути для дуже високих конструкцій.

Для реалізації похилого візування необхідно два прилади у двох площинах, тому для масових не унікальних конструкцій цей метод неефективний. Середня квадратична похибка встановлення у вертикальне положення похилим візуванням матиме такі складові

$$m_{\text{пох.віз}}^2 = m_{\text{вд}}^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{віз}}^2 + m_{\text{зовн}}^2 + m_{\text{нахил}}^2, \quad (5.3)$$

де $m_{\text{нахил}}$ – похибка за нахил осі обертання приладу, а під похибкою вихідних даних тут слід розуміти похибку нанесення рисок.

Для застосування приладів вертикального проектування необхідно ще монтувати на верх конструкції палетку, вимірювати віддаль від конструкції до місця встановлення приладу вниз і такої ж віддалі добиватися зверху. Тому для масових конструкцій цей спосіб неефективний.

Застосування сучасних лазерних приладів в способі похилого візування, бокового нівелювання та як приладів вертикального проектування не усуває недоліків цих способів щодо їх неефективності. Ці способи залишаються затребуваними лише в унікальних випадках при великих висотах конструкції.

5.6. Виконавче знімання

Виконавче знімання проводиться для визначення фактичних просторових координат елементів споруди та перевірки відповідності цих координат проектним значенням. Найбільш ефективний спосіб – спосіб *вільної станції* з електронним тахеометром, який має функціональний режим вимірювання «без відбивача». Цей режим значно підвищує якість ідентифікації точок конструкції (через відсутність відбивача) та дозволяє виконувати роботи одному операторові.

Через відносно здешевлення широкої популярності набувають тепер наземні лазерні сканери (див. п. 1.3), які дозволяють провести виконавче знімання за найкоротший термін і, практично, автоматично. Для цього виду робіт найбільш придатні так звані «інтер'єрні сканери», які мають діапазон роботи у вертикальній площині до 320°, вищу точність знімання та меншу максимальну віддаль вимірювань.

Забороняється починати наступний етап будівельно-монтажних робіт до закінчення виконавчого знімання та складання виконавчих схем (креслень) попереднього етапу. На виконавчій схемі показують напрямок і значення відхилення конструкції від проектного положення. Виконавча схема є одним з основних документів на підставі якого надається дозвіл на виконання наступного етапу будівельно-монтажних робіт. Виконавча схема повинна підписуватися геодезистом, виконробом та головним інженером підрядника [13].

Виконавче геодезичне знімання підземних інженерних мереж потрібно виконувати перед засипкою траншей. Особливу увагу звертають на приховані елементи будівлі: котловани, фундаменти, підземні трубопроводи, кабелі... Для всіх підземних комунікацій визначають координати кутів повороту, центрів колодязів, точок перетину з іншими комунікаціями, вимірюють діаметри труб, висоти залягання труб, висоти кришок колодязів.

5.7. Точність геодезичних монтажних та виконавчих робіт

Точність вимірювання у процесі геодезичного контролю точності геометричних параметрів будівель (споруд), у тому числі при виконавчому зніманні, не повинна перевищувати 0,2 величини допустимого відхилення [13].

Значення допустимих відхилень конструкцій від проектного положення, як правило, приводяться в проектній документації на будівництво об'єкту. Для масових залізобетонних конструкцій такі значення приведені в [26] (див. табл. 5.1, 5.2).

Таблиця 5.1

Граничні відхилення конструкцій при монтажі

Параметр	Граничне відхилення
1	2
1. Відхилення від вертикалі (чи від проектного нахилу) ліній перетину площин на всю висоту конструкції: - фундаментів, - стін та колон, які підтримують монолітні перекриття,	20 мм 15 мм
- стін та колон, які підтримують збірні балкові конструкції, - стін, що зводяться методом ковзної опалубки (проміжні перекриття відсутні), стін, що зводяться методом ковзної опалубки (проміжні перекриття присутні)	10 мм 1/500 Н (не більше 100 мм) 1/1000 Н (не більше 50 мм)
2. Відхилення горизонтальних площин	20 мм
3. Місцеві нерівності поверхні бетону під час перевірки двошметровою рейкою (крім опорних поверхонь)	5 мм
4. Довжина або проліт елементів	±20 мм
5. Розмір поперечного січення елементів	+6 мм -3 мм
6. Відмітки поверхонь і закладних виробів, які служать опорою для збірних елементів	-5 мм
7. Ухил опорних поверхонь фундаментів при опиранні сталевих колон без підливки	0,0007
8. Розташування анкерних болтів - в плані всередині контуру опори, - в плані поза контуром опори, - по висоті	5 мм 10 мм +20 мм
9. Різниця відміток по висоті стику двох суміжних поверхонь	3 мм

Таблиця 5.2

Граничні відхилення збірних залізобетонних конструкцій при монтажі

Параметр	Граничне відхилення
1	2
1. Відхилення рисок фундаментних блоків і стаканів фундаментів від осі:	12 мм
2. Відхилення відміток опорної поверхні дна стакана фундаменту: - до вирівнювання дна розчином - після вирівнювання дна розчином	-20 мм ±5 мм
3. Відхилення рисок елементів в нижньому січенні від осі: - колон, панелей, об'ємних блоків - панелей навісних стін - ригелів, прогонів, балок, підкранових балок	8 мм 10 мм 8 мм
4. Відхилення осей колон одноповерхових будівель у верхньому січенні від вертикалі: - висотою до 4м - висотою від 4м до 8 м - висотою від 8м до 16 м - висотою від 16м до 25 м	20 мм 25 мм 30 мм 40 мм
5. Відхилення осей колон багатопверхових будівель у верхньому січенні від осі: - висотою до 4м - висотою від 4м до 8 м - висотою від 8м до 16 м - висотою від 16м до 25 м	12 мм 15 мм 20 мм 25 мм
6. Різниця відміток верху колон одноповерхових будівель: - висотою до 4м - висотою від 4м до 8 м - висотою від 8м до 16 м - висотою від 16м до 25 м	14 мм 16 мм 20 мм 24 мм
7. Різниця відміток верху колон кожного поверху багатопверхових будівель а також верху стінових панелей в межах ділянки, що вивіряється:	

продовження табл. 5.2

1	2
- при контактному встановленні	12+2n мм
- при встановленні за маяками	10 мм
8. Відхилення осей у верхньому січенні встановлених елементів (ригелів, балок, ферм) на опорі від осей чи рисок нижніх елементів:	
- при висоті елемента на опорі до 1 м	6 мм
- при висоті елемента на опорі від 1 до 1,6 м	8 мм
- при висоті елемента на опорі від 1,6 до 2,5 м	10 мм
- при висоті елемента на опорі від 2,5 до 4 м	12 мм
9. Відхилення від симетричності (половина різниці глибини опирання кінців елемента) при встановленні ригелів, прогонів, балок, ферм, плит перекриття в напрямку прольоту:	
- при довжині елемента до 4 м	5 мм
- при довжині елемента від 4 м до 8 м	6 мм
- при довжині елемента від 8 м до 16 м	8 мм
- при довжині елемента від 16 м до 25 м	10 мм
10. Відстань між осями верхніх поясів ферм і балок в середині прольоту	60 мм
11. Відхилення від вертикалі верху площин:	
- панелей несучих стін і об'ємних блоків	10 мм
- крупних блоків несучих стін	12 мм
- перегородок, навісних стінових панелей	12 мм
12. Різниця відміток поверхонь двох суміжних плит перекриття в шві:	
- при довжині плити до 4 м	8 мм
- при довжині плити від 4 м до 8 м	10 мм
- при довжині плити від 8 м до 16 м	12 мм
13. Різниця відміток верхніх полиць підкранових балок і рейок:	
на двох сусідніх колонах вздовж ряду:	
- при відстані між колонами менше 10 м	10 мм
- при відстані між колонами більше 10 м	0,001L (не більше 15 мм)
в одному поперечному розрізі прольоту:	
- на колонах	15 мм
- в прольоті	20 мм

продовження табл. 5.2

1	2
14. Відхилення по висоті порогу дверного проїому об'ємного елемента ліфтової шахти відносно посадкового майданчика	± 10 мм
15. Відхилення від перпендикулярності внутрішньої поверхні стін ліфтової шахти відносно горизонтальної площини	30 мм

В ДСТУ-НБВ.1.3-1:2009 [15] також регламентується точність будівельно-монтажних робіт, шляхом встановлення допуску, який вираховується за формулою (4.1). Однак одиницю допуску i знаходять за такою формулою

$$i = \alpha(0.8 + 0.001\sqrt{L}) \cdot (\sqrt[3]{L + 25} + 0.01\sqrt[3]{L^2}), \quad (5.4)$$

де L – середнє значення розміру елемента для обраного інтервалу.

Для будівельно-монтажних робіт в [15] встановлено два види допусків:

- на суміщення рисок на вихідній поверхні та на елементі ($\alpha = 1,6$);
- на симетричність взаємного встановлення вихідного і монтажного елементів ($\alpha = 0,6$).

Значення коефіцієнта точності K залежить від класу точності та вибирається за табл.4.3. Однак віднесення будівельних конструкцій до певного класу точності відбувається не так як для розмічувальних робіт. Державний стандарт не роз'яснює як віднести конструкцію чи елемент до певного класу. Автор [1] стверджує, що перші два класи обирають для металевих конструкцій, третій та четвертий класи – для залізобетонних, 5-й – для цегляних та 6-й – для земляних конструкцій. Для визначення L сформовані такі інтервали: при суміщенні рисок 120-250-500-1000-1600 мм, а для симетричності встановлення 2500-4000-8000-16000-25000-40000-60000 мм. Наприклад, якщо ми маємо елемент розміром 9 м, то він попадає в інтервал 8000-16000 мм, середина якого 12000 мм, тому для нього $L=12$.

Приведені в [15] допуски будівельно-монтажних робіт відносяться до положення елементів після їх закріплення. Для тимчасового закріплення потрібно вибирати коефіцієнт точності, а відповідно і допуски на 1-2 класи вищими.

Запитання для самоконтролю до розділу 5

1. *Перерахуйте основні види геодезичних робіт при монтажі будівельних конструкцій?*
2. *Які складові середньої квадратичної похибки способу візування при контролі планового положення будівельних конструкцій?*
3. *Перерахуйте основні сучасні способи контролю висотного положення конструкцій?*
4. *Опишіть основну робочу формулу при контролі висотного положення конструкцій способом геометричного нівелювання?*
5. *Якими способами здійснюють контроль висотного положення конструкцій?*
6. *Чи дозволяють сучасні будівельні рівні забезпечити необхідну точність перевірки вертикальності масових конструкцій житлового будівництва?*
7. *Чому дорівнює гранична похибка вимірювання у процесі геодезичного контролю точності геометричних параметрів будівель (споруд), у тому числі, при виконавчому зніманні?*
8. *Як встановлюються допуски розмічувальних робіт згідно ДСТУ-НБВ.1.3-1:2009?*
9. *Яке граничне відхилення від вертикалі ліній (площин) стін та колон, які підтримують монолітні перекриття (згідно СНІП 3.03.01.-87)?*
10. *Як встановлюються допуски будівельно-монтажних робіт згідно ДСТУ-НБВ.1.3-1:2009?*
11. *Для чого здійснюють виконавче знімання елементів споруди чи конструкції?*
12. *Що показують на виконавчій схемі?*
13. *Чи можна розпочинати наступний етап будівельно-монтажних робіт до закінчення виконавчого знімання та складання виконавчих схем (креслень) попереднього етапу?*
14. *Якими спеціалістами підписується виконавча схема?*

Розділ 6. Геодезичний моніторинг будівель

6.1. Розміщення деформаційних марок. Точність та періодичність спостережень за деформаціями

Розрізняють рівномірні та нерівномірні осідання фундаментів та споруд. Перші не є небезпечними для функціонування споруди, другі – можуть привести до появи та розкриття тріщин чи виходу з ладу технологічного обладнання. Проте, на практиці рівномірних осідань не існує. На піщаних ґрунтах швидкість осідання в початковий період – висока, а самі осідання швидко припиняються. На глиняних ґрунтах, навпаки, на початку – малі швидкості осідання, але затухають вони повільно протягом довгого періоду. Всі причини осідання поділяють на дві групи – природні та антропогенні.

Характеристики осідання:

- повне осідання – S ;
- середнє осідання – S_{cp} ;
- нерівномірне осідання – різниця осідань – ΔS ;
- відносне нерівномірне осідання $\Delta S/l$;
- ухил фундаменту i , або крен споруди Q ;
- відносний прогин – f/l ;
- кут закручення споруди – χ ;
- горизонтальне зміщення – u .

Деформаційний процес розпочинається з пружної віддачі дна котлована, коли в результаті зняття верхнього шару землі відбувається випучування (підйом) землі, особливо в центрі котлована. Незначний підйом ґрунту відбувається також поза межами котловану. Значний практичний прояв цей процес має для великих об'єктів – станцій метро, великих гідротехнічних споруд – гребель.

Способи спостереження за осіданнями:

- геометричне нівелювання (найвища точність 0,05 мм на відстані 5-10м);
- тригонометричне нівелювання (найвища точність 0,1 мм на відстані до 100м);
- гідростатичне нівелювання (найвища точність 0,1 мм);
- наземне стереотопографічне знімання (найвища точність 1,0 мм);

Деформаційні марки розміщують на однаковій висоті від землі, в кутках споруди, в місцях, різкої зміни осідань (зліва і справа від тріщини), на стиках сусідніх блоків. Для житлових будинків марки розміщують через 10-15 метрів. Для промислових споруд марки розміщують те тільки зовні, а й всередині, обов'язково на поздовжніх та поперечних осях (не менше трьох марок на осі). Для будинків, в яких фундамент споруджено у вигляді суцільної фундаментної плити, марки розміщують по периметру на осях з розрахунку 1 марка на 100 кв. м. Для димових труб – не менше 4 марок по периметру.

Види деформаційних марок:

- кутник довжиною 15 см;
- спеціальна марка для підвішування рейки (рис. 6.1, а);
- спеціальна марка для встановлення рейки (рис. 6.1, б);
- марка з інварною шкалою (рис. 6.1, г);

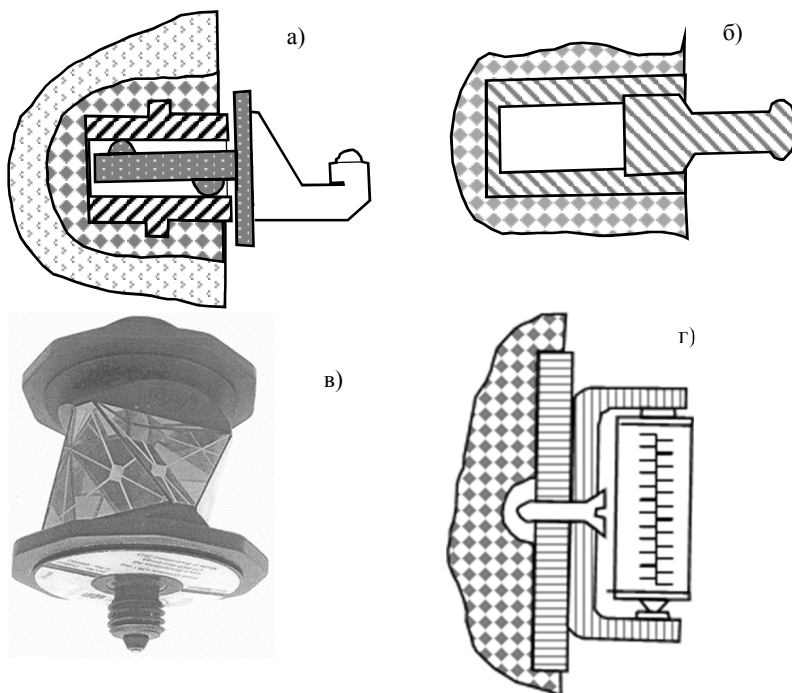


Рис. 6.1. Види деформаційних марок: а) – для підвішування рейки, б) – для встановлення рейки, в) – трипельпризма кругового огляду, г) – з інварною шкалою

В якості деформаційних марок часто використовують також зображення у вигляді білого круга (розміром 5-20 мм, в залежності від віддалі спостереження) з двома концентричними колами різної ширини навколо нього. Таке зображення наносять на пластикову пластину, яку приклеюють на бетонну чи металеву частину конструкції. На даху об'єкту «Укриття» ЧАЕС були встановлені марки у вигляді куль розміром 10-30 мм [1].

Ефективним є використання трипельпризм кругового огляду типу MPR122 360 фірми Leica (рис. 6.1, в), які стаціонарно встановлюють на споруді. Хорошим рішенням є катафотові плівки з рефлекторними марками, які наклеюють на конструкцію. Ці плівки-відбивачі забезпечують якісне вимірювання віддалі, коли кут падіння променя не відхиляється від нормалі до плівки більше ніж 30°. Такі марки забезпечують можливість використання електронних, в тому числі безвідбивних, тахеометрів для спостереження за деформаціями безконтактно.

Вихідними пунктами для визначення осідань – є вихідні репери, які встановлюють поза зоною спостережень:

- глибинні фундаментальні репери, які закладають в корінні стабільні породи;
- ґрунтові репери, які закладають нижче глибини промерзання на 0,5-1 м (кількістю не менше 3);
- стінні репери (не менше 4), які закладають в стіну споруд, осідання яких вважають закінченим.

Біметалічні фундаментальні репери являють собою два стержні (мідний та залізний), забетоновані в корінну породу та одягнуті в захисну трубу. Для передачі висот від вихідних реперів до деформаційних марок використовують робочі (зв'язні) репери. Крім вихідних реперів на відповідальних об'єктах закладають свердловини для спостереження за рівнем ґрунтових вод та температурою порід.

При геометричному (чи тригонометричному) нівелюванні середню квадратичну похибку осідання марки в циклі m_S визначимо як

$$m_S = m_{h_{CT}} \sqrt{2n}, \quad (6.1)$$

де $m_{h_{CT}}$ – середня квадратична похибка нівелювання на станції, n – кількість станцій в ході.

Якщо задати m_S , то можна вирахувати $m_{h_{CT}}$

$$m_{h_{CT}} = m_S / \sqrt{2n} \quad (6.2)$$

та вибрати прилад необхідної точності, який би забезпечував точність не нижчу, ніж вирахована за формулою (6.2).

З іншого боку $m_{h_{CT}}$ можна вирахувати через середню квадратичну похибку одиниці ваги μ_h

$$\mu_h = \frac{\Delta S_{KP}}{Kt\sqrt{2}}, \quad (6.3)$$

де ΔS_{KP} – критичне значення нерівномірного осідання для даної споруди, $1/K$ – коефіцієнт мізерного впливу похибок вимірювання ($K=2.2, 2.5, 3$), t – нормувальний множник при переході від граничної похибки до середньої квадратичної похибки ($t=2, 2.5, 3$) [18].

За середню квадратичну похибку одиниці ваги рекомендують прийняти середню квадратичну похибку визначення перевищення на станції при оптимальній довжині плеча (20 метрів). Тоді похибку $m_{h_{CT}}$ вираховують, виходячи з середньої реальної довжини плеча в ході. Тоді $m_{h_{CT}}$ вираховують за формулою

$$m_{h_{CT}} = \mu_h \cdot \sqrt{\frac{20}{l_{cp}}}, \quad (6.4)$$

де l_{cp} – середня довжина плеча в ході. Найбільше значення $\mu_h = 0,16\Delta S_{KP}$, а найменше $\mu_h = 0,08\Delta S_{KP}$. В багатьох університетах ведуться дослідження для визначення точності спостереження осідань та періодичності вимірювань для кожного типу будівель та споруд.

ГОСТ 24846-81 «Ґрунти, методи вимірювання деформацій основ будинків та споруд» [9] рекомендує для попереднього визначення точності вертикальних та горизонтальних деформацій використовувати очікувану величину зміщення, встановлену проектом (табл. 6.1). Цей нормативний документ встановлює зв'язок між граничними похибками вимірювання зміщень та класом точності вимірювання (табл. 6.2).

Таблиця 6.1

Значення граничних похибок (мм)

Очікуване значення вертикальних чи горизонтальних переміщень за вимогами проекту	Гранична похибка вимірювання для періоду			
	будівельного		експлуатаційного	
	грунти			
	піщаний	глинистий	піщаний	глинистий
до 50	1	1	1	1
від 50 до 100	2	1	1	1
від 100 до 250	5	2	1	2
від 250 до 500	10	5	2	5
більше 500	15	10	5	10

Таблиця 6.2

Зв'язок між граничними похибками вимірювання зміщень та класом точності вимірювання

Клас точності вимірювань	Граничні похибки вимірювань зміщень	
	вертикальних	горизонтальних
I	1	2
II	2	5
III	5	10
IV	10	15

В разі відсутності очікуваних значень деформацій в проекті приведено перелік будівель і споруд, які відносяться до певного класу точності:

I – будинки та споруди унікальні, більше 50 років експлуатації, зведені на скелястих чи напівскелястих ґрунтах;

II – будинки та споруди, зведені на піщаних, глинистих чи інших ґрунтах, що стискаються;

III – будинки та споруди, зведені на насипних, просадних торф'яних чи інших ґрунтах, що дуже стискаються;

IV – земляні споруди.

Ще одну формулу для визначення точності вимірювань пропонує [1]

$$m_s = 0,2S. \quad (6.5)$$

Для відповідальних, унікальних споруд спостереження за осіданнями ведуться починаючи з підготовки котловану після спорудження фундаменту. Більша частина осідань завершується під

час будівництва. Під час будівництва цикли призначають, коли вага будівлі досягла 25%, 50%, 75% та 100%. На м'яких ґрунтах кількість циклів збільшують. Після завершення будівництва періодичність спостереження – 2-4 рази в рік.

Останнім часом все більше уваги звертається на розробку *проекту спостережень* за зсувами та деформаціями. Такий проект передбачає розрахунок необхідної точності геодезичних вимірювань, вибір методів спостереження, підбір приладів, розробку проекту опорної геодезичної мережі, визначення періодичності спостережень та інтерпретацію отриманих результатів. Всі згадані етапи проекту виконують з врахуванням особливостей геологічної будови об'єкту, особливостей та вимог до споруд, які будують зводиться.

6.2. Аналіз стабільності реперів опорної мережі

Як би глибоко та як би надійно не закладали вихідні нівелірні репери, вони все рівно будуть зміщуватися. Аналіз стабільності вихідних реперів – є важливим, відповідальним та необхідним процесом в структурі моніторингу будівель, адже без нього результати спостереження за деформаціями можуть бути спотворені похибками, викликаними рухом вихідних реперів.

Для виявлення найбільш стабільних реперів застосовують такі способи:

- кореляційного аналізу перевищень;
- дисперсійного аналізу;
- спосіб, що базується на незмінній висоті найбільш стабільного репера.

В основі способу кореляційного аналізу перевищень лежить гіпотеза, що при стабільних опорних реперах перевищення між цими реперами є кореляційно незалежними. Необхідно мінімум 8 циклів спостережень. Вираховують середнє значення перевищення h_{jcp} між реперами з 8-ми циклів та відхилення від середнього перевищення в кожному циклі

$$\Delta_{ij} = h_{ij} - h_{jcp}, \quad (6.6)$$

а потім парні коефіцієнти кореляції

$$\left. \begin{aligned} r_{h_1 h_2} &= \frac{[\Delta_1 \Delta_2]}{n} \frac{1}{\sigma_{h_1} \sigma_{h_2}} \\ r_{h_1 h_3} &= \frac{[\Delta_1 \Delta_3]}{n} \frac{1}{\sigma_{h_1} \sigma_{h_3}} \\ r_{h_2 h_3} &= \frac{[\Delta_2 \Delta_3]}{n} \frac{1}{\sigma_{h_2} \sigma_{h_3}} \end{aligned} \right\}, \quad (6.7)$$

де

$$\sigma_{h_j} = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n-1}} \quad (6.8)$$

стандартне відхилення, а n – кількість циклів. Після цього вираховують часткові та множинні коефіцієнти кореляції, перевіряють їх значимість та судять про імовірність нестабільності якогось із реперів.

При дисперсійному способі вираховують середню квадратичну похибку в кожному циклі і похибки визначення перевищень між циклами, перевіряють нульову гіпотезу про рівність середніх перевищень між однойменними реперами в різних циклах. Вираховують граничне систематичне відхилення середніх перевищень між окремими циклами. Розходження в середніх перевищеннях більші граничного показують імовірну величину осідання реперів.

Третій спосіб базується на простому припущенні, що найстабільніший той репер, відносно якого зміщення всіх інших реперів та деформаційних марок є найменшими:

$$[vv] = \min. \quad (6.9)$$

Значення v вираховують для всіх реперів та для всіх циклів, приймаючи послідовно за вихідний усі репери.

Порядок опрацювання наступний:

1. Виміряні в кожному окремому циклі значення перевищень між реперами зрівноважують як вільну мережу.
2. Приймають за вихідну висоту 1-го репера $H_1^{(1)}$ з початкового (першого) циклу

$$H_1^{(1)} = const. \quad (6.10)$$

3. Вираховують висоти всіх реперів $H_i^{(2)}$ у 2-му циклі спостережень від висоти 1-го репера

$$H_i^{(2)} = H_1^{(1)} + h_{1i}^{(2)}, \quad (6.11)$$

де $h_{1i}^{(2)}$ – перевищення між 1-им та i -им репером у 2-му циклі, верхній індекс у всіх величинах вказує на номер циклу спостережень.

4. Знаходять відхилення $v_i^{(2)}$ висот однойменних реперів у 2-му циклі відносно 1-го циклу

$$v_i^{(2)} = H_i^{(2)} - H_i^{(1)}. \quad (6.12)$$

5. Знаходять суму квадратів таких відхилень для всіх реперів мережі $\sum_{i=1}^{i=n} (v_i^{(2)})^2$ для 2-го циклу.

6. Вираховують висоти всіх реперів $H_i^{(3)}$ у 3-му циклі спостережень від висоти 1-го репера

$$H_i^{(3)} = H_1^{(1)} + h_{1i}^{(3)}, \quad (6.13)$$

а потім відхилення $v_i^{(3)}$ цих висот у 3-му циклі відносно 1-го циклу

$$v_i^{(3)} = H_i^{(3)} - H_i^{(1)}, \quad (6.14)$$

де $h_{1i}^{(3)}$ – перевищення між 1-им та i -им репером у 3-му циклі, а потім – суму квадратів таких відхилень для всіх реперів мережі

$\sum_{i=1}^{i=n} (v_i^{(3)})^2$ для 3-го циклу.

7. Якщо є наступні 4-ий та інші цикли, то виконують обчислення відповідно до пунктів 3–5 для 4-го та наступних циклів. Після чого знаходять суму квадратів відхилень висот однойменних реперів для всіх реперів мережі та для всіх циклів за умови, що висота першого репера з першого циклу прийнята за вихідну

$$\sum_{j=1}^{j=m} \sum_{i=1}^{i=n} (v_i^{(j)})^2. \quad (6.15)$$

8. Приймають за вихідну висоту 2-го репера з початкового

(першого) циклу

$$H_2^{(1)} = \text{const} \quad (6.16)$$

і пункти 3–7 повторюють, лише відносно висоти другого репера.

9. Заключною процедурою є порівняння сум (6.15) для різних вихідних реперів. Той репер, для якого сума (6.15) виявиться найменшою будемо вважати найбільш стабільним та приймемо його висоту з 1-го циклу вихідною висотою для мережі.

6.3. Способи спостереження за деформаціями

Найбільш поширеним, простим, універсальним, високоточним і найбільш відомим є спосіб **геометричного нівелювання**. Спостереження виконують при двох горизонтах приладу. Для мінімізації похибок рекомендують, щоб візирний промінь проходив на віддалі 0,3-0,5 м від перешкоди, в т.ч. над землею. З цієї ж причини попередньо розмічають місця станцій, добиваючись рівності плеч.

Стаціонарну **гідростатичну систему** застосовують там, де неможливо використати геометричне нівелювання: обмеженість простору, небезпечні умови для перебування людини.

Основні фактори помилок гідростатичного нівелювання:

- локальні коливання температури (усувається застосуванням напірного резервуара, за допомогою якого перемішують воду перед зняттям відліків, що зменшує похибку за коливання температури) ;
- локальні коливання атмосферного тиску (усувають використовуючи спеціальні додаткові шланги).

Цей спосіб забезпечує похибку визначення осідань 0,1 мм. Варіація способу – гідродинамічне нівелювання, в якому рідина безперервно рухається трубками. В автоматизованих гідростатичних чи гідродинамічних системах нівелювання застосовують фотоелектричні та електроконтактні способи реєстрації відліків – рівня рідини в трубках.

Тригонометричне нівелювання виконують коротким променем (до 100 м), що значно зменшує вплив всіх джерел похибок, в тому числі і вертикальної рефракції. Цей спосіб ефективний при спостереженні точок на різних висотах, важкодоступних висотних споруд (веж, споруд баштового типу, гребель) та при спостереженні через перешкоди. Значної

продуктивності можна досягти, якщо застосовувати безвідбивний тахеометр, або спеціальні тонкі плівки в якості відбивача. При вимірюванні вертикальних кутів з похибкою 1 секунда на відстанях до 100 метрів можна досягти точності 0,1-0,5 мм визначення перевищень.

Наземне фототеодолітне знімання забезпечує одночасно величезну кількість точок для визначення деформацій. Саме в цьому полягає ефективність даного способу вимірювання деформацій. Поруч із отриманням знімків інженерної споруди необхідно визначити координати кількох добре розпізнаваних точок будівлі геодезичними методами, наприклад безвідбивним електронним тахеометром. Мінімальна віддаль, з якої можна отримати чітке зображення

$$Y_{\min} = \frac{f^2}{\lambda n}, \quad (6.17)$$

де f – фокусна віддаль, λ – допустима розмитість зображення $\lambda = 0.1 \text{ мм}$, $1:n$ – відносний отвір об’єктива.

Визначення координат в площині знімка (X і Z) здійснюють вдвічі точніше, ніж третьої координати – Y – в напрямку перпендикулярному до знімка. Довжина базису рівна 1/5–1/10 віддалі до об’єкту.

Наземне лазерне сканування (див. п. 1.3) – відносно новий, але ефективний метод спостереження за деформаціями. Він як і фототеодолітне знімання забезпечує велику кількість точок для аналізу, в той же час є найбільш автоматизованим способом. Крім того, останні два способи дозволяють оперувати просторовим зміщенням точок.

6.4. Визначення горизонтальних зміщень споруд

Після завершення будівництва спостереження за зміщеннями виконують 1-2 рази в рік осінню або весною, коли відбуваються різкі зміни умов. При швидкості зміщень менше 1-2 мм/рік, спостереження припиняють. Віддаль між деформаційними марками 10-20 метрів. Вихідні пункти потрібно розмістити поза зоною зміщень.

Способи визначення:

- створні вимірювання;

- лінійно-кутові побудови;
- стереотопографічний;
- наземне лазерне сканування.

Найбільш класичний варіант створних вимірювань – схема повного створу А-Б, відносно якого визначають відхилення марок 1-5 (рис. 6.2). Якщо видимості між кінцевими точками створу немає, то застосовують модифікації способу: схема послідовних створів, схема частин створу, схема створів, що перекриваються, схема послідовних створів частинами.

Створний спосіб дуже широко аналізується в літературі, але він має один суттєвий недолік – зміщення визначаються лише в одному напрямку, перпендикулярному до створу. Такі вимірювання ефективні, якщо зміщень вздовж створу немає, або їх розвиток не впливає негативно на функціонування споруди.

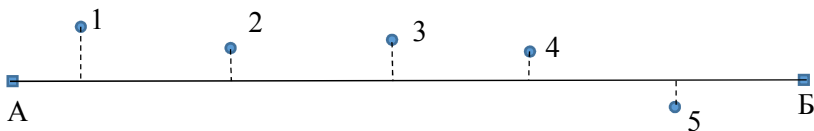


Рис. 6.2. Схема визначення горизонтальних зміщень методом створу

Три інші способи дозволяють отримувати зміщення не тільки в плані, вздовж обох координатних осей, але й визначати просторове зміщення.

6.5. Спостереження за кренами та тріщинами

При спостереженнях за кренами граничні похибки вимірювань не повинні перевищувати:

$0,00001L$ – для фундаментів під агрегати і машини (L – довжина фундаменту);

$0,0001H$ – для стін будівель (H – висота будівлі);

$0,0005H$ – для димових труб, баштових споруд.

Серед способів спостереження за кренами виділимо такі:

- за допомогою виска;
- приладами вертикального проектування;
- визначення положення осі електронними тахеометрами з кількох опорних точок – координатні визначення: в літературі описані різноманітні модифікації цього способу: спосіб координат,

спосіб горизонтальних кутів, спосіб горизонтальних і вертикальних кутів, метод нахилоного проектування;

- за результатами геометричного нівелювання при вимірюванні осідань необхідно мати мінімум 3-4 деформаційні марки у фундаменті башти; за різницею висот можна визначити крен;

- за допомогою клинометрів – накладного високоточного рівня з ціною поділки 2-5 секунд.

Застосування виска вимагає його встановлення на верху споруди із внутрішньої сторони, тому для дуже високих споруд це затратно й небезпечно. Використання приладів вертикального проектування можливе лише у випадку, коли такий прилад можна встановити над центром симетрії споруди, або ж створити вертикаль на малій віддалі паралельно конструкціям (стіні).

Дуже простим видається метод нахилоного проектування, при якому прилад встановлюють на відстані 1,5-2 висоти від споруди у двох (J_x , J_y) взаємно перпендикулярно розміщених точках (рис. 6.3). З обох точок вимірюють горизонтальні кути на краї нижнього та на краї верхнього січень споруди.

Вираховують середній відлік, що відповідає центру башти. Різниця середніх значень кутів на низ і на верх башти дає значення кута крену (нахилу, вираженого в кутових секундах) в площині, перпендикулярній до напрямку візування

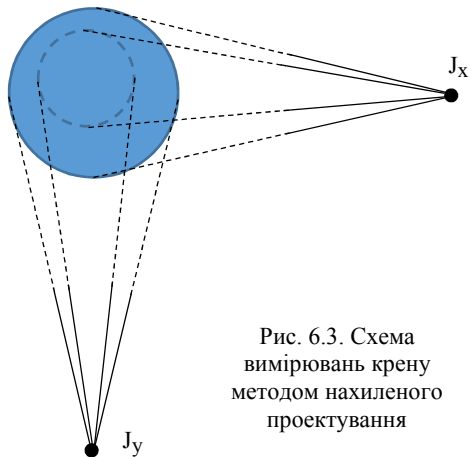


Рис. 6.3. Схема вимірювань крену методом нахилоного проектування

$$\left. \begin{aligned} q''_x &= \text{верх}_x - \text{низ}_x \\ q''_y &= \text{верх}_y - \text{низ}_y \end{aligned} \right\}, \quad (6.18).$$

де *верх*, *низ* – середні значення горизонтальних відліків відповідно для верхнього та нижнього січень споруди. Лінійні складові крену визначимо

$$\left. \begin{aligned} Q_x &= q''_x S_x / \rho \\ Q_y &= q''_y S_y / \rho \end{aligned} \right\}, \quad (6.19).$$

де S_x, S_y – віддалі від точок стояння приладу до центру башти.

Повне значення крену

$$Q = \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}, \quad (6.20).$$

Для спостережень способом координат раніше [1] пропонувалося прокласти навколо башти замкнений полігонометричний хід на віддалі 1,5-2 висоти споруди. З пунктів цього ходу можна визначати координати точок башти (які можна чітко розпізнати, ідентифікувати) різними засічками: кутовими чи лінійно-кутовими.

З появою безвідбивних тахеометрів ці два способи дещо модифікувалися. Достатньо мати на навколишній території 2-4 чіткі контурні точки, визначити їх координати з першої станції стояння тахеометра, а потім використати ці зв'язні точки на наступних станціях як вихідні для визначення координат методом вільної станції. Найпростіше координувати крайні видимі точки башти. Використавши локальну систему координат об'єкта, лінійні складові крену можна одразу отримати як різницю координат центру споруди на різних висотах.

Для спостережень за тріщинами встановлюють маяки. Маяк – це пластинка з гіпсу, алебастру чи скла, яка кріпиться поперек тріщини на обох краях її. При збільшенні тріщини маяк руйнується.

6.6. Спостереження за зсувами

Зсув – це рух земних мас (порід) вниз по схилу. Зсуви виникають під дією ґрунтових та поверхневих вод. Періодичність спостереження – один раз в рік. Найбільш підходящий період – весною після спаду рівня води в ріках. На території зсуву створюють просторову лінійно-кутову мережу, яка включає робочі пункти, що знаходяться на тілі зсуву, та опорні (стабільні) пункти, які знаходяться за межею руху. Як правило, визначають всі три координати пунктів [28].

Часом (на бортах кар'єрів) застосовують метод створів, коли в тілі зсуву закладають пункти, розташовані на одній прямій,

перпендикулярно до борта кар'єру. Визначають зміщення як вздовж створу так і поперек.

Ефективними методами спостереження за зсувами залишаються:

- наземне фотограмметричне знімання фотокамерою;
- наземне лазерне сканування;
- періодичні GNSS – спостереження;
- лінійно-кутові мережі.

Запитання для самоконтролю до розділу 6

1. Які осідання є небезпечними для функціонування споруди?
2. Як відбувається процес осідання на різних типах ґрунтів?
3. Перерахуйте основні характеристики (параметри) осідання?
4. З чого розпочинається деформаційний процес великої споруди?
5. Перерахуйте основні способи спостереження за осіданнями?
6. Які основні правила розміщення деформаційних марок?
7. Які репери використовують в якості вихідних пунктів для визначення осідань?
8. Як вираховують середню квадратичну похибку одиниці ваги при визначенні осідань геометричним нівелюванням?
9. Від яких факторів залежить гранична похибка вимірювання при визначенні деформацій згідно ГОСТ 24846-81?
10. Як взаємозв'язані гранична похибка вимірювання деформацій з класом точності вимірювання згідно ГОСТ 24846-81?
11. Перерахуйте способи визначення найбільш стабільних реперів?
12. Опишіть порядок визначення найстабільнішого репера способом, що базується на незмінній висоті такого репера.
13. З якої причини добиваються рівності плеч на станції при визначенні осідань геометричним нівелюванням?
14. В яких випадках тригонометричне нівелювання буде ефективним при визначенні осідань?
15. Охарактеризуйте способи спостереження за кренами?
16. Як використовується маяк для спостереження за тріщинами?
17. Як визначають зсуви земних порід?
18. Які переваги фотограмметричного способу визначення деформацій?
19. Вкажіть способи визначення горизонтальних зміщень споруд.

Розділ 7. Геодезичні роботи при зведенні будинків

7.1. Геодезичні роботи в підготовчий період

Серед робіт підготовчого періоду будівництва, в яких необхідна участь геодезистів, необхідно виділити такі:

- відведення земельної ділянки;
- попереднє вертикальне планування території;
- підведення зовнішніх інженерних мереж;
- побудова та закріплення точок опорних планово-висотних мереж;
- аналіз проектної документації, зокрема, проекту виконання геодезичних робіт.

Процес зведення будинку має два класичних етапи:

- зведення підземної частини споруди, яке ще називають нульовим циклом будівництва, який закінчується рівнем підлоги першого поверху;
- зведення надземної частини споруди.

7.2. Розмічування і закріплення осей будівель

Головні осі (осі симетрії) розмічують лише для унікальних складних за формою будівель. Найчастіше обмежуються закріпленням основних осей, які визначають планові контури будинку. Вісь закріплюється двома, або чотирма точками. Найбільш ефективним є закріплення осей рисками, нанесеними фарбою на стінах сусідніх спорудах, які вже зведені. Якщо ж поблизу таких об'єктів немає, то осі закріплюють постійними знаками у вигляді відрізків металевих труб чи рейок довжиною 1,60–1,80 м, до яких приварюють якір, і цю конструкцію бетонують у свердловині діаметром 25-40 см. В технічній [1] та навчальній літературі [7] описується використання для цих робіт обнесення, на якому закріплюють осі споруди. Обнесення – це огорожа із вертикальних стовпів висотою 0,5-1,2 м та прикріплених до них горизонтальних дошок, розміщених паралельно осям [1]. Таку технологію можна, напевно, віднести до історичних, але при відсутності сучасних приладів можливе і її використання.

Якщо застосовують сучасний електронний тахеометр, то на ділянці будівництва закріплюють 3-5 опорних пункти, а від закріплення осей постійними знаками чи обнесенням відмовляються. Застосування методу *вільної станції* та прикладних

програм тахеометра «розмічування» та «базова лінія» дозволяє оперативно відновити необхідну вісь в потрібний момент.

7.3. Геодезичне забезпечення облаштування котловану

Традиційно розмічення розмірів та місця котловану здійснювалося від закріплених осей споруди. Проте, дуже просто винести на місцевість точки котловану за допомогою електронного тахеометра методом вільної станції від пунктів опорної мережі, оминувши таким чином етап розмічення осей.

В процесі виймання ґрунту необхідно періодично контролювати глибину котловану. Найефективніший спосіб визначення відміток дна котловану – тригонометричне нівелювання безвідбивним тахеометром. Якщо ж з якихось причин цей спосіб не можна застосувати, то залишається традиційне геометричне нівелювання, яке потребує підвишування стрічки та використання двох нівелірів одночасно – одного на поверхні, другого – на дні котловану. Зайва виїмка ґрунту не допускається. За 0,05-0,20 м до проектної позначки виїмку ґрунту спеціалізованою технікою припиняють, а остаточне зачищення здійснюють вручну або ж іншою технікою, яка забезпечує точне зняття ґрунту.

Після закінчення земляних робіт проводять виконавче знімання, цілі якого – перевірити відповідність проекту положення, розмірів та глибини котловану, а також підрахувати об'єм вийнятого ґрунту. Максимальне відхилення фактичних висот дна котловану від проектних значень не повинно перевищувати ± 50 мм за даними [1] та 20-30 мм за даними [7].

Для великих за розміром котлованів та унікальних споруд здійснюють спостереження за випинанням ґрунту, для чого закладають ґрунтові репери на дно котловану. Ціль спостережень – зафіксувати припинення процесу підйому ґрунту. Звичайно, такі вимірювання призупиняють процес будівництва, тому їх виконують лише за спеціальним завданням.

7.4. Геодезичні роботи при зведенні фундаментів будинків

За технологією зведення фундаменти поділяються на збірні, монолітні та палеві. Крім того розрізняють стрічкові та суцільні фундаменти. Останні ще називають фундаментними плитами. Перед укладанням фундаменту на дно котловану засипають шар піску.

Облаштування збірних фундаментів розпочинають з наріжних блоків, а між ними через 20 м встановлюють блоки-маяки. В масовому будівництві використовують струнний спосіб розміщення та контролю монтажу фундаментних блоків. Останнім часом збірні фундаменти зустрічаються не часто.

Для облаштування монолітних фундаментів необхідно розмістити положення внутрішніх граней опалубки. При застосуванні сучасного професійного опалубкового обладнання з фіксованою товщиною стінок можна здійснювати розміщення зовнішніх елементів опалубки. Як і в попередніх випадках, для розміщення автор рекомендує метод вільної станції з електронним тахеометром з використанням програм для розміщення осей. В місцях введення підземних комунікацій передбачають отвори в фундаменті. Зміщення осі опалубки від проектного положення не повинно перевищувати 12 мм згідно [26] та 15 мм згідно [1; 7], а від осей стін чи колон – 8 мм [26]. Зменшення внутрішніх розмірів опалубки не повинно перевищувати 3 мм, а збільшення – 6 мм [26]. Вертикальність опалубки можна контролювати нитковим виском чи будівельним рівнем. Допустиме відхилення від вертикалі не може перевищувати 20 мм на всю висоту фундаменту [26]. Позначку верху фундаменту (заповнення бетоном) фіксують на внутрішній поверхні опалубки. При цьому слід враховувати, що після затвердіння відбувається усадка бетону. Для надійного з'єднання фундаменту з верхньою конструкцією, наприклад колоною, часто використовуються анкерні болти з розжимною цангою, які являють собою гаки, на верхній частині якого нанесена різьба для гайки. Раніше анкерні болти занурювали в рідкий бетон та вивіряли їх в проектне положення до застигання бетону. Тепер в фундаменті залишають спеціальні колодязі, куди вставляють анкерні болти, вивіряють їх, закріплюють, а потім заливають сумішшю цементного розчину та епоксидного клею. Зміщення анкерних болтів в плані не повинно перевищувати ± 5 мм (якщо болт розташований всередині конструкції) та ± 10 мм (якщо він знаходиться зовні) [26]. Відхилення верху анкерного болт від проектного положення по висоті не повинно перевищувати +20 мм. Від'ємне відхилення не допускається [26].

Після зняття опалубки виконують знімання фундаменту та складають виконавчу схему, на якій показують відхилення точок фундаменту від проектного положення в плані та по висоті. У

випадку допустимих відхилень замонолічують перекриття першого поверху, що є заключним етапом будівництва підземної частини.

При облаштуванні палевих фундаментів розмічують центр кожної палі. Для контролю висотного положення під час забивання на палі наносять поділкі через 1 м. Після занурення верх палі зрізають по проектній відмітці. Після забивання всіх паль проводять виконавче знімання, за результатами якого складають виконавчу схему, на якій показують відхилення центрів паль від проектного положення та позначку верху кожної палі. Відхилення позначки верху палі від проектного значення не може перевищувати ± 20 мм. Граничні відхилення центру палі в плані залежать від розміру останньої та приведені в табл. 7.1 для паль довжиною до 20 м. [1].

Таблиця 7.1

Граничні відхилення центру палі
від проектного положення в плані [1]

Діаметр палі D , см	до 60	60-200	понад 200
Граничне відхилення, мм	$\pm 0,3 \cdot D$	$\pm 0,5 \cdot D$	$\pm 0,6 \cdot D$

7.5. Геодезичні роботи при зведенні каркасних будівель

В технічній літературі [1; 7] термін каркасні будівлі трактують по-різному. Тут каркасними називатимемо будівлі, у яких колони та перекриття зводяться монолітним способом, а стіни та перегородки – з цегли чи блоків.

В літературі [1; 7] акцентується увага на традиційному порядку геодезичного забезпечення зведення будівель, який включає:

- закріплення основних осей будівлі рисками (фарбою) на зовнішніх стінах цокольного поверху;
- створення внутрішньої розмічувальної мережі (для будівель до 9 поверхів така мережа не створюється) на перекритті першого поверху (для прямокутної будівлі мережа складається з 4-х точок), вимірювання кутів та ліній у цій мережі, її зрівноваження та редукування міток такої мережі в проектне положення;
- передавання (чи проектування) пунктів мережі чи точок осей на кожен монтажний горизонт (поверх);
- розмічування від переданих пунктів монтажних осей на кожному монтажному горизонті;

- розмічування положення конструкцій від монтажних осей.

Використання такої технології викликає процес накопичення похибок кожного етапу в похибці просторового положення конструкції. Передавання пунктів розмічувальної мережі на монтажні горизонти традиційно здійснювалася способами похилого проектування та вертикального проектування [1; 7]. Перший спосіб рекомендується використовувати для будинків до 12 поверхів. Другий – для більш високих будівель. Проте спосіб вертикального проектування потребує додаткового облаштування спеціальних отворів в перекритті кожного поверху над кожною точкою мережі. Крім того, для передачі висотної координати на монтажні горизонти, необхідно застосування ще однієї геодезичної процедури – геометричного чи тригонометричного нівелювання.

Кінцева ціль усіх згаданих етапів робіт – розмічування колон та стін каркасної будівлі на кожному поверсі. Тому, більш перспективним видається використання методу вільної станції з електронним безвідбивним тахеометром чи супутникових спостережень приймачами GNSS сигналів. При застосуванні цих способів необов'язково відтворювати положення пунктів розмічувальної мережі на кожному монтажному горизонті, достатньо визначити координати однієї чи двох точок на поверсі в системі координат будівлі від пунктів, закріплених на землі чи сусідніх будівлях.

GNSS-спостереження потребують, щоб вихідні пункти були закріплені в землі, щоб використовувалися одночасно мінімум два приймачі супутникових сигналів з функцією RTK (що значно збільшує вартість геодезичних робіт), щоб навколишні споруди не обмежували видимості на супутники (що в умовах міста важко забезпечити) та, на сам кінець, щоб використовувався ще електронний тахеометр для розмічення конструкцій. Правда, можливий варіант розмічування GNSS-приймачем зразу точок розташування конструкцій, тоді застосування тахеометра не потрібне.

Вільна станція видається найбільш ефективним способом реалізації таких завдань. Вихідні пункти можуть бути закріплені на стінах нижніх поверхів сусідніх будівель. Якщо маркувати вихідні пункти локальної мережі будівлі на стінах верхніх поверхів чи на криші, то можлива температурна деформація положення цих пунктів, врахування якої вимагає досить значних геодезичних спостережень та опрацювань.

Під час бетонування перекриття підземної частини

залишають випуски арматури під колони першого поверху. Тому необхідне розміщення положення таких випусків, що є фактично розміщенням положення колон першого поверху. Після застигання перекриття підземної частини проводять виконавче знімання, однією із важливих частин якого є контроль проектного положення випусків арматури під колони. Після позитивних результатів виконавчого знімання розмічують положення опалубки кожної колони. Якщо конструкція (розміри) опалубки фіксовані, то достатньо розміщення двох точок під кожен стовп, третя буде контрольною. Вертикальність опалубки контролюють у двох площинах переважно будівельним рівнем, хоча можна застосовувати висок чи спеціальні лазерні багатопроменеві прилади (див. пп. 1.4, 1.5). Процедуру перевірки вертикальності потрібно виконувати двічі: перед заповненням бетоном та після заповнення. Третій раз – після зняття опалубки під час виконавчого знімання. Рекомендують [1] контролювати горизонтальні та вертикальні зміщення опалубки а також кручення після заповнення бетоном. Найефективніше це виконати безвідбивним електронним тахеометром, визначивши просторові координати чотирьох нижніх та чотирьох верхніх кутків опалубки. Це, правда, вимагатиме додаткових затрат часу геодезиста.

Перед бетонуванням колон розмічують відмітку верху колони, по якій буде контролюватися рівень заповнення опалубки бетоном. Арматура, яку облаштовують в опалубці колони перед бетонуванням, повинна мати зверху випуски для надійного з'єднання з плитою перекриття верхнього поверху. Розмічування перекриття верхнього поверху вимагає контролю горизонтальності опалубки, що також легко здійснити електронним тахеометром.

Розмічування стін та перегородок виконують лінійними промірами при наявності вже зведених колон.

При перевірці проектного положення всіх конструкцій будівлі (колон, плит перекриття, стін) можна користуватися граничними відхиленнями приведеними в табл. 5.1, 5.2 (див. п. 5.6). В [1] рекомендується оцінювати відхилення колон від вертикалі за такою граничною похибкою

$$\delta_{верт} = 0,94 \cdot h \cdot \sqrt{N}, \quad (7.1)$$

де h – висота поверху в метрах, N – номер поверху.

7.6. Геодезичні роботи при зведенні монолітних будівель

Технологічна різниця будівництва каркасних та монолітних споруд невелика. Відмінність в тому, що в останніх монолітним способом зводяться ще й стіни і перегородки. Використовується переставна або ковзна опалубка. Як правило, переставну опалубку монтують на висоту одного поверху, сплітають арматуру та заповнюють бетоном. Під час підготовки опалубки формують віконні, дверні та інші прорізи. Після застигання бетону опалубку знімають та переставляють на наступний поверх. Геодезичне забезпечення такого будівництва аналогічне як при зведенні каркасних будинків (див. п. 7.5).

Крім багатопверхових будинків ковзну опалубку застосовують для будівництва елеваторів, труб, радіотелевізійних веж. Така опалубка повільно і майже безперервно піднімається вгору по мірі заповнення бетоном за допомогою гвинтових або гідравлічних домкратів. Такий процес вимагає відповідного майже безперервного контролю проектного положення опалубки. Контролю підлягають просторове положення низу опалубки та її вертикальність, або ж просторове положення нижніх та верхніх точок опалубки. Автори [1; 7] поруч з традиційними методи контролю монтажу: похилим проектуванням, боковим нівелюванням, вертикальним проектуванням, геометричним нівелюванням – рекомендують гідростатичне нівелювання для визначення відміток домкратів. Автор цього посібника вважає більш ефективним застосування для цих цілей електронного безвідбивного тахеометра. Для цього потрібно мати проектні просторові координати маячкових точок опалубки, за якими контролюється проектне положення конструкції. Щоб забезпечити необхідну точність геодезичного контролю ці точки повинні якісно розпізнаватися (ідентифікуватися) на тілі опалубки, а кут падіння сигналу тахеометра має лежати в секторі $\pm 30^\circ$ від перпендикуляру до точки опалубки. Інших факторів, які суттєво знижують точність вимірювань електронним тахеометром в даному випадку немає. Для автоматизації процесу підйому опалубки та контролю її проектного положення в [7] пропонують знизу на днищі опалубки сформувати сітку фотоелектричних давачів (4-6 штук), які б відтворювали форму опалубки. На землі формують геодезичну мережу, яка за геометрією точно повторює сітку давачів. В пунктах наземної

мережі встановлюють пентапризми, які розвертають горизонтальний промінь у вертикальну площину. В центрі геодезичної мережі встановлюють ротаційний лазерний нівелір та задають горизонтальну площину, промені якої розвертаються пентапризмами вгору. Якщо промені від усіх пентапризм попадають на центри всіх давачів на днищі опалубки, то остання буде знаходитися в плановому проектному положенні. У випадку відхилення лазерного променя від центру фотодавача посиляється сигнал гідравлічним домкратам, які корегують положення опалубки. Для повної автоматизації процесу необхідно якимось чином контролювати висотне положення опалубки. Чи реалізована така система виробничо в [7] не повідомляється. Крім того, застосувати таку систему можна лише для споруд, які не мають перекриттів.

В таблиці 7.2 приведені граничні відхилення деяких параметрів конструкцій, аналоги яких відсутні в табл. 5.1, 5.2 (див. п. 5.6), для монолітного способу зведення споруд [1].

Таблиця 7.2

Граничні відхилення параметрів опалубки
від проектного положення [1]

Граничне відхилення	Значення
позначок поверхні підлоги опалубки між собою, мм	10-15
осей домкратів від осей стін опалубки, мм	2
позначок ригелів однотипних домкратних рам, мм	2
опалубки в середину «конусність», мм	-2 ÷ +4
стояків домкратних рам та осей домкратів від вертикалі, мм	0

В будівельній практиці використовується метод піднімання, за якого на землі спочатку зводять саму верхню частину об'єкта, яку піднімають потужними домкратами на висоту однієї секції вгору. Потім на землі споруджують другий зверху ярус і вже два яруси разом піднімають вгору і так продовжують до завершення будівництва споруди. Для реалізації такого методу застосовують потужні домкрати, які дозволяють плавно піднімати всю конструкцію з максимальним нахилом 1-2 мм. Таким методом переважно зводять вежові споруди. Яскравий приклад – металева конструкція Київської телевежі [1].

7.7. Геодезичні роботи при зведенні цегляних будівель

Цегляні будинки зводяться до 12 поверхів і вище. Розміченню підлягають наріжні точки будівлі на кожному монтажному горизонті, а від них легко розмітити стіни та перегородки. В процесі будівництва перевіряють вертикальність та горизонтальність цегляної кладки найчастіше будівельним рівнем. Для наріжних точок цю процедуру здійснюють через кожен метр по висоті.

Висотне розмічення віконних та дверних прорізів та перекриття поверхів можна виконувати електронними рулетками чи електронним безвідбивним тахеометром. Ефективним для контролю вертикальності цегляних стін буде застосування лазерних ротаційних нівелірів, які можуть задавати видиму площину, від якої робітник вклатиме цеглу.

Виконавчим зніманням перевіряють вертикальність стін та горизонтальність перекриттів кожного поверху.

7.8. Геодезичні роботи при прокладанні підземних інженерних мереж

Серед геодезичних робіт при будівництві підземних інженерних мереж виділяють такі: розмічення осі траси, центрів колодязів, камер, точок примикання, перетинів з іншими комунікаціями, нівелювання траси, геодезичні роботи безпосередньо для укладання трубопроводу, виконавче знімання комунікації. Колодязі встановлюють в точках повороту траси, відводу та зміни діаметру труби. Після розмічення осі траси виконують технічне нівелювання землі через 20-25 м вздовж траси. За різницею позначок землі та проектних висот вираховують глибину траншеї. Найбільш високі вимоги до точності вкладання комунікацій по висоті ставляться до самотічних водовідвідних трубопроводів. Для укладання таких труб із малим проектним ухилом ефективним буде використання електронного тахеометра з лазерним видимим візором чи спеціалізованого лазерного фіксатора ухилу типу *TP-L4B Topcon* чи лазерного нівеліра із серії *Leica Rugby*, всі прилади якої мають можливість формувати похилу площину із заданим ухилом з точністю 1,5 мм /30 м, що більш ніж достатньо для таких робіт. В процесі прокладання підземних комунікацій визначають позначку бетонної основи каналу, опорної

подушки, перекриття, дна камери і колодязя, низу і верху вхідних та вихідних труб, верху перекриття камери, обичайки люків колодязів та рівня землі біля них. До засипання траншей проводять виконавче знімання, за результатами якого описують характер відхилень, їх причини та з ким ці відхилення узгоджені.

Запитання для самоконтролю до розділу 7

- 1. Перерахуйте основні види геодезичних робіт в підготовчий період зведення будинків.*
- 2. Скількома точками закріплюють основні осі будівель?*
- 3. Якими способами контролюють глибину котловану в процесі виймання ґрунту?*
- 4. На якій позначці по відношенню до проектного значення припиняють виїмку ґрунту спеціалізованою технікою?*
- 5. У яких випадках здійснюють спостереження за випинанням ґрунту дна котловану?*
- 6. На які групи за технологією зведення поділяються фундаменти?*
- 7. Опишіть особливості облаштування монолітних фундаментів?*
- 8. Які граничні відхилення внутрішніх розмірів опалубки фундаменту від проектних значень?*
- 9. Яке допустиме відхилення фундаменту від вертикалі?*
- 10. Яке граничне відхилення позначки верху палі від проектного значення?*
- 11. Перерахуйте способи передавання пунктів внутрішньої розмічувальної мережі (чи основних осей будівлі) на монтажний горизонт.*
- 12. Як зводять будинки за допомогою ковзної опалубки?*
- 13. Яке граничне відхилення стін опалубки в середину «конусність»?*
- 14. В чому ефективність застосування лазерних ротаційних нівелірів під час монтажу цегляних будинків?*
- 15. Для чого виконують технічне нівелювання землі через 20-25 м вздовж траси підземної комунікації?*
- 16. До яких комунікацій ставляться найбільш високі вимоги до точності вкладання по висоті?*
- 17. Якими приладами задають проектний ухил підземного трубопроводу?*

Розділ 8. Геодезичні роботи при будівництві автомобільних та залізничних доріг, магістральних трубопроводів та ліній електропередач

8.1. Дорожні вишукування

Автомобільні дороги поділяються на 5 категорій, залізниці – на 3 категорії. Основні параметри доріг приведені в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1

Основні параметри доріг	
Параметр	Значення
Автомобільні дороги	
Найбільший поздовжній ухил	0,03-0,07
Найменший радіус кривої в плані, м	1000-125
Найменший радіус вертикальної кривої, м:	
випуклої	25000-2500
вигнутої	8000-1500
Залізниці	
Керівні ухили	0,015-0,02
Радіус кривої в плані, м	
найбільший	4000
найменший	1200-300
Рекомендований радіус вертикальної кривої, м	10000-5000

Виділяють такі етапи вишукувальних робіт:

- допроектні рекогностирувальні для техніко-економічного обґрунтування проекту, в результаті яких вибирають основний напрямок дороги;
- детальні проєктні для розробки проекту дороги;
- безпосередньо перед будівництвом для складання робочого проекту;

8.2. Відновлення осі

Розмічування траси виконують на останньому етапі вишукувань. З різних причин знаки, якими закріплювали елементи траси, втрачаються. Тому необхідне відновлення осі безпосередньо перед будівництвом. Для цього проводять такі роботи:

- виносять в натуру точне положення траси, тепер кути

повороту траси частіше не визначають і не закріплюють ;

- розбивають пікетаж на прямій ділянці через 100 – 10 м, в залежності від класу (значення) автомобільної дороги;

- розбивають кругові та перехідні криві (на кривих пікети розбивають через 5 м – 20 м в залежності від радіусу кривої та категорії дороги; для доріг найвищої категорії на кривих з малим радіусом пікети розмічують через 2,5 м);

- виконують нівелювання траси, закладають реperi;

- закріплюють трасу на місцевості дерев'яними та залізобетонними стовпами, під час реконструкції існуючої дороги пікети закріплюють дюбелями та фарбою на асфальті;

- прив'язують трасу до пунктів державних геодезичних мереж (ДГМ);

- виконують знімання переходів та перетинів;

- перевіряють осі споруд;

- закріплюють трасу.

Для розмічення кругових та перехідних кривих використовувались кілька способів: прямокутних координат, хорд, кутів, продовжених хорд. З впровадженням електронних тахеометрів найбільш ефективний спосіб – полярний із використанням *методу вільної станції*. Для успішного розмічення необхідно, щоб проєктанти розрахували координати точок кривої через необхідний інтервал.

Цей же спосіб популярний для розмічення інших елементів – пікетів, осей споруд. Варто рекомендувати спосіб за допомогою приймачів ГНСС-сигналів, але потрібно мати приймачі з RTK режимом.

8.3. Розмічування земляного полотна

Полотно автомобільної дороги має такі складові: проїзна частина, обочина, відкос, кювет (рис. 8.1). Для винесення в натуру земляного полотна розмічують поперечні профілі через 20-40 м вздовж осі. Під проїзною частиною викопують корито, куди потім вкладають шари штучного покриття дороги. В поперечному перерізі корито має ухили від центру до країв 15-40 промілів (1,5-4,0%). На різних ділянках можливе облаштування насипів або виїмок. Їх розмічення на рівнинній ділянці є досить простим, а на косогорі потребує врахування природнього ухилу косогору.

Врахування таких ухилів здійснюється програмним чином при проектуванні дороги. Основний спосіб розмічення – вільна станція з електронним тахеометром.

Застосування автоматизованих геодезичних систем управління будівельною технікою для земляних робіт (див. п. 14.1, 14.2) скорочує до мінімуму розмічувальні роботи, дозволяє відмовитися від традиційних «кілочків» та пришвидшує виконання розпланувальних земляних робіт.

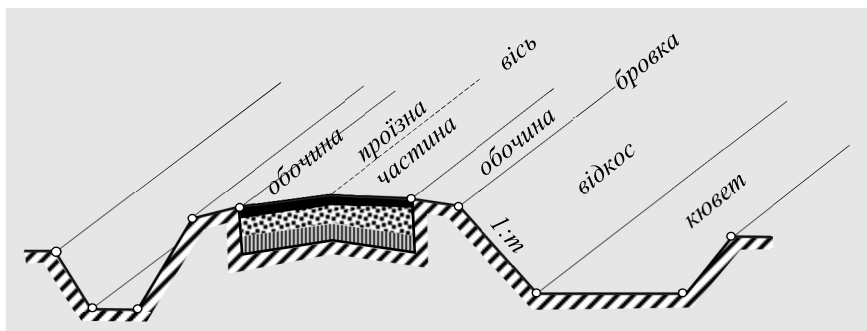


Рис. 8.1. Полотно автомобільної дороги

Після закінчення земляних робіт проводять виконавче знімання на кожному профілі. Допустимі відхилення:

- відміток бровок земляного полотна ± 5 см;
- ширини корита ± 5 см;
- поперечного ухилу корита $\pm 0,005$;
- поздовжнього ухилу кюветів $\pm 0,001$.

8.4. Розмічення верхнього покриття дороги

Перед будівництвом верхнього покриття дороги розмічують поперечні профілі через 10, 20 м, а на кривих через 5, 10 м. Знаки на профілях служать мітками для укладання штучної основи (піску, гравію), несучого шару (бетон, камінь, щебінь) та верхнього шару – асфальту. Точність розмічення в плані ± 3 -5 мм, по висоті ± 2 -3 мм.

Ширина колії на прямолінійних ділянках становить 1524 мм, на кривих – 1530 мм (при $R=300$ -350 м) та 1540 мм при $R<300$ м. Ширину колії змінюють плавно в межах перехідної кривої по 1 мм на 1 м шляху. Відхилення ширини колії від проектного значення не

повинно перевищувати +4 мм та -3 мм [19]. Розмічення головок рейок залізниці виконують з точністю $\pm 1-2$ мм. На кривих зовнішня рейка вища за внутрішню на

$$h = 12.5 \frac{v_{cp}^2}{R}, \quad (8.1)$$

де v_{cp} – середня швидкість руху на кривій, R – радіус.

8.5. Віражі

Віраж – це ділянка кривої, яка має односкатний поперечний переріз. Його влаштовують для кривих з радіусом меншим 2000 м (3000 м для автомагістралей). Основні елементи віражу: поперечний ухил – i_3 , довжина відгону віражу – L , довжина віражу, розширення проїзної частини – Δb (рис. 8.2). На ділянках відгону віражу відбувається плавний перехід від двоскатного поперечного перерізу до односкатного перерізу на віражі. Для забезпечення такого переходу зовнішню (по відношенню до центру кривої) бровку полотна розмічують з поздовжнім ухилом i_2 . Довжина відгону віражу визначиться формулою:

$$L = b \frac{i_3}{i_2}, \quad (8.2)$$

де b – ширина проїзної частини.



Рис. 8.2. Схема віражу автомобільної дороги

На кривих з радіусом $R=1000-3000$ м ухил віражу дорівнює поперечному ухилу на прямій ділянці. При $R<1000$ м ухил віражу більше звичайного ухилу. Для кривих з радіусом меншим 700 м облаштовують розширення проїзної частини.

На віражі розмічують поперечні профілі через 5-10 метрів електронним тахеометром способом вільної станції.

8.6. Серпантини

Серпантини використовують при проектуванні доріг на дуже крутих схилах. Основні елементи серпантини: основна кругова крива радіусом R (F-G-E), дві додаткові криві радіусом r_1 та r_2 (B-C, A-D), дві прямі вставки (C-F, D-E) або дві перехідні криві довжиною l_1 і l_2 . Якщо додаткові криві мають однаковий радіус, а перехідні криві однакову довжину, то таку серпантину називають симетричною.

Розрахункова швидкість на серпантині – 25-30 км/год. Радіус основної кривої $R=20-30$ м, довжина перехідних кривих $l_1 = l_2=25-30$ м, поперечний ухил віражу 0,06, найбільший поздовжній ухил 0,03, радіуси допоміжних кривих $r_1=r_2=100-150$ м.

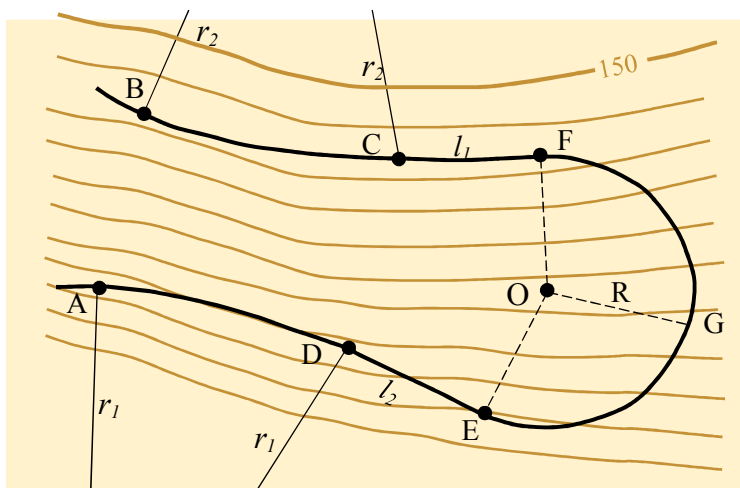


Рис. 8.3. Схема серпантини

Розміщення серпантини зручно вести з центру основної кривої, проте при використанні способу вільної станції це не є обов'язковим. Детальне розміщення основної кривої здійснюють через 3-5 м.

8.7. Розміщення перетинів автодоріг

Перетин доріг може відбуватися в одному або в різних рівнях. Місце для перетину доріг в одному рівні вибирають за таких вимог:

кут перетину повинен бути близьким до 90° , ділянка головної дороги в місці перетину повинна бути прямою, мінімальний радіус з'єднання по внутрішньому краю проїзної частини повинен бути не меншим 20-25 м. Облаштовують перехідні криві з основною кривою посередині, або так звану коробову криву, в центрі якої крива з мінімальним радіусом, а на початку та в кінці повороту – кругові криві радіусом більшим мінімального удвічі чи втричі. Рекомендований спосіб розмічення – вільна станція з електронним тахеометром.

На дорогах вищої категорії облаштовують так звані розв'язки в різних рівнях. Їх форма в плані може бути дуже різноманітною.

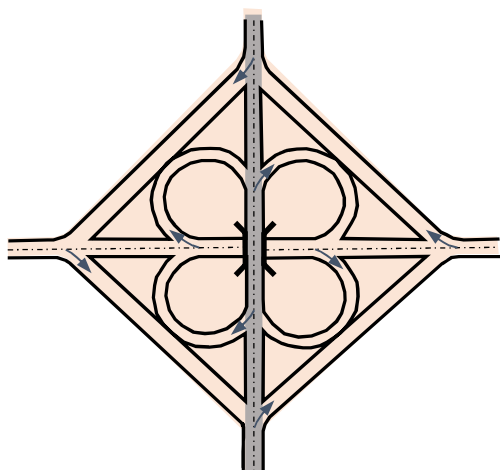


Рис. 8.4. Примикання автомобільних доріг у вигляді листка конюшини

Найбільш ефектною, ефективною та часто вживаною є розв'язка у формі листка конюшини (рис. 8.4). Радіуси лівоповоротних з'їздів (внутрішніх кривих) повинні бути не меншими за 60-50 м, а правоповоротних – не менше 250-125 м. На всіх з'їздах облаштовують віражі з ухилом 20-60 проміле. Облаштовують додаткові смуги розгону (до 200 м) чи гальмування (до 100 м) перед виїздом з

поворотної кривої та перед з'їздом на неї. Для розробки проекту примикання виконують знімання території в масштабі 1:1000, 1:2000 з висотою січення рельєфу 0,5-1 м. Розмічення кривих (через 5, або 2,5 м) ефективно виконувати електронним тахеометром способом вільної станції.

Перетини автомобільних доріг із залізницями намагаються проектувати в різних рівнях.

Серед сучасних способів виконавчого знімання автомобільних доріг слід виділити такі:

- метод вільної станції з електронним тахеометром;
- повітряні лазерні сканувальні системи;

- аерофотознімання з безпілотних літальних апаратів;
- мобільні картографічні системи.

8.8. Розмічення з'єднань залізничних доріг

Примикання залізничних колій планують на прямих ділянках і реалізують у вигляді стрілочних переводів (рис. 8.5). Основні частини стрілочного переводу: гостряки, перевідний механізм, перевідна крива та хрестовина. Кут α між робочими гранями хрестовини називається кутом хрестовини, а вираз

$$1/N = \operatorname{tg} \alpha \quad (8.3)$$

називають маркою стрілки. Для грузових колій $1/N = 1/9$, а для пасажирських $1/11$, $1/22$. Точку перетину робочих граней хрестовини називають математичним центром хрестовини, а точку перетину осей колій – центром стрілочного переводу. Віддалі a і b є

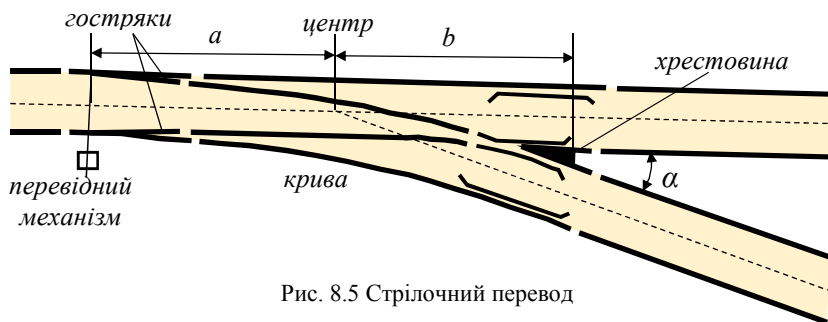


Рис. 8.5 Стрілочний перевод

фіксованими (рис. 8.5). Для розмічення стрілочного переводу достатньо було винести його центр, а від нього за фіксованими розмірами легко розмітити інші елементи. Детального розмічення потребує крива переводу. При наявності проектних координат основних елементів стрілочного переходу розміщення легко виконати спеціальною прикладною програмою електронного тахеометра із застосуванням способу вільної станції.

Коли формують кілька паралельних віток для створення парку колій, то такі колії називають стрілочною вулицею.

Для проектування стрілочних переводів, стрілочних вулиць виконують знімання в масштабі 1:500-1:1000 з висотою січення рельєфу 0,5 м.

Під час виконавчого знімання перевіряють координати точок перевідних кривих, центрів стрілочних переводів, математичного центру хрестовини та інших відповідальних вузлів. Висоти колій визначають через 50 м на поперечниках, в кожному з них необхідно виміряти висоти головки рейки, осі і бровок полотна, дна кюветів, підшов відкосів.

8.9. Знімання залізничних колій

Для безпечної експлуатації залізниці періодично виконують знімання залізничних колій. За результатами знімання вираховують величини рихтування точок колій, як різницю між реальним положенням та проектним положенням точок. Рихтування здійснюють в напрямку нормалі до колії. В літературі [19] описують такі способи знімання кривих: спосіб евольвентних різниць, спосіб стріл вигину, фотограмметричний спосіб. Ці способи відрізняються переліком величин і способом їх вимірювання. В перших двох способах передбачалося застосування теодоліта та мірної стрічки.

Застосування електронного тахеометра з безвідбивним режимом вимірювання спрощує методику знімання і не потребує спеціальних додаткових побудов. Достатньо визначити просторові координати точок центру колії, за якими можна легко визначити необхідні значення рихтувальних елементів. Перспективним залишається фотограмметричний спосіб, адже дозволяє визначити координати практично безмежної кількості точок колії. Сучасний варіант – аерофотознімання з безпілотного літального апарата.

Для контролю геометричних параметрів рейкових колій фінська фірма Koncranes розробила ефективну та ефектну роботизовану систему RailQ (див. п. 13.2.2). Широкою популярністю користуються наземні лазерні сканувальні системи (див. п. 1.3), як окремі прилади так і в складі систем моніторингу залізниць (див. п. 8.9.1). Комплексну оцінку стану об'єктів залізниць виконують за допомогою автоматизованих діагностичних комплексів об'єднаних в спеціалізовані вагони (див. п. 8.9.1). Ці системи та комплекси є дороговартісними, але економічно потужні залізниці можуть дозволити собі використання такого обладнання. Крім того, ці системи дозволяють дуже швидко виконувати знімання без зупинки поїздів, що в сучасних умовах є необхідним.

8.9.1. Комплексні системи для моніторингу стану залізниць

Провідні виробники геодезичного обладнання пропонують комплексні системи моніторингу залізниць:

- Amberg GRP System FX фірми Amberg Technologies AG (Швейцарія);
- Swiss Trolley фірми Terra Vermessungen AG (Швейцарія);
- Tachy Rail фірми Geo-Metrik AG (Німеччина).

Практично всі вони мають схожі функціональні можливості, технічні характеристики та набір обладнання.

Основу системи Amberg GRP складає мірний візок на трьох колесах (рис. 8.6), в якому розміщено три давачі [30]:

- давач ширини колії з точністю вимірювань $\pm 0,3$ мм та діапазоном вимірювань від -25 мм до +65 мм від номінальної ширини колії;
- давач поперечного ухилу для вимірювання перевищень однієї рейки над іншою з точністю вимірювань $\pm 0,5$ мм на ширину колії 1435 мм;
- одометр для визначення пройденого шляху візком з точністю 0,5%.

Цими трьома давачами визначаються основні геометричні параметри залізничної колії, за виключенням перевищень вздовж рейки. Конструкцією візка передбачена можливість змінювати свою ширину під відповідну ширину залізниці від 1000 до 1676 мм. На візку встановлено кронштейн, на якому розміщені планшет та блок управління.

До складу обладнання входить юстирувальний комплект для перевірки закладених в систему номінальних параметрів колії (допусків).

Коли використовувати систему Amberg GRP лише в такій комплектації, яка згадана вище, то невідомими залишаються просторові координати візка. Для вирішення цієї задачі посередині візка передбачена можливість для кронштейна, на якому може монтуватися різне обладнання. Найпростіший варіант обладнання – призма-відбивач, на яку будуть виконуватися вимірювання електронним тахеометром, що дозволяє обчислити просторові координати центру візка, а використавши дані давачів – і просторові координати точок рейок, де знаходилися колеса візка. Таку систему розробники назвали GRP 1000.



Рис. 8.6. Приладові складові комплексної системи Amberg GRP для моніторингу залізниць

Два інші варіанти обладнання перетворюють візок у комплексну багатофункціональну систему, яка може здійснювати ще знімання території навколо залізниці. Перший варіант – GRP 3000, в якому поруч із відбивальною призмою на кронштейн встановлюють моторизований безвідбивний лазерний віддалемір «Profiler 110 FX» з діапазоном вимірювання від 0,3 до 30 м та точністю $\pm 1,5$ мм. Другий варіант – GRP 5000, в якому використовують лазерний сканер Profiler 5002 з частотою обертання 100 Гц, діапазоном вимірювання від 1 до 79 м, можливістю знімання до 20000 точок за 1 оберт, точністю вимірювань 1,2 мм / 10 м.

Нові можливості з'являються у системи, коли до неї приєднують інерційно-навігаційний модуль AMU 1030/2020/2030, який дозволяє відтворювати шлях, пройдений кареткою з міліметровою точністю та визначати поздовжні перевищення рейок [30].

Для визначення координат візка в єдиній системі координат можна використати:

- тахеометр (Leica MS50, TS50, TS30, TS15, TPS1200, моторизований з системою автоматичного наведення ATR) для

більш точної прив'язки;

- GPS-приймач для менш точної прив'язки;
- лазерний сканер Profiler 5002 для більш точної прив'язки.

Тахеометр і ГНСС-приймач (а можливий і варіант комбінованого приладу тахеометр з ГНСС-приймачем) встановлюють на кронштейні посередині візка. В обох випадках необхідно мати мережу опорних пунктів вздовж залізниці, координати яких визначені в одній системі координат.

На залізницях Японії, Німеччини, Франції такі пункти встановлюються на опорах контактної мережі. Положення візка можна визначити способом вільної станції. Пункти геодезичної мережі, розміщені на опорах, піддаються деформаціям через зсуви ґрунту, деформації насипу, погодні (температурні) коливання. Більш надійним видається створювати геодезичну мережу у вигляді постійних ґрунтових реперів на стабільних майданчиках за межами насипів і зони динамічного впливу поїздів. Але обов'язковою умовою такого розміщення є видимість залізничного полотна з кожного геодезичного пункту.

Такі системи, як Amberg GRP, використовуються для контролю рейкових колій як під час будівництва залізниць (для контролю монтажу та для виконавчого знімання), так і під час їх експлуатації, а також для знімання залізничного полотна та прилеглої території. Тому ці системи і називають *«системами для моніторингу стану залізниць»*.

Геометричні параметри рейкових колій залізниць визначають як одну із багатьох складових під час комплексної оцінки стану об'єктів залізниць за допомогою автоматизованих діагностичних комплексів об'єднаних в спеціалізовані вагони.

Типовим видається діагностичний комплекс «Архімед» (Італія), який може вимірювати понад 100 параметрів геометричних характеристик шляху і його елементів, контактної мережі, систем сигналізації та зв'язку при швидкості руху 200-250 км/год. Комплект вимірювального обладнання поїзда включає: 57 комп'ютерів, що обробляють отриману інформацію зі швидкістю 30 Гбіт/с; 24 лазерних випромінювачі; 43 оптичних давачі; 47 акселерометрів; 4 вимірювальних пантографи; 15 відеокамер; набір давачів швидкості, напруги, температури, позиціонування поїзда на лінії. Шість систем місцевизначення дозволяють з точністю 5 см прив'язувати результати вимірювань до пікетних

відміток колії, як на прямих ділянках, так і на мостах, стрілочних переводах та переїздах. Вимірювальне та обчислювальне обладнання пов'язано мережею оптико-волоконних кабелів, що передають результати вимірювань і відеозйомок в реальному часі зі швидкістю 2500 Гбіт/с. На основі отриманих результатів вимірювань встановлюються показники якості інфраструктури шляху для всіх складових компонентів. Потім аналізується взаємозалежність цих показників якості, і в тому числі геометричних характеристик шляху. Комп'ютерна програма компанії МерМес містить алгоритм прогнозування можливих дефектів для своєчасного запобігання їх утворення і визначення необхідних ремонтних робіт. Такий діагностичний вагон включають до складу звичайного поїзда за розкладом.

Аналогічні поїзди є й в інших країнах. Це IRISSys (Німеччина, Голландія), ENSCO (США), IFS (Швеція), IRI 320 (Франція).

8.10. Особливості геодезичного забезпечення будівництва магістральних трубопроводів та ліній електропередач (ЛЕП)

Вздовж вибраного напрямку траси трубопроводу виконують маршрутне аерофотознімання в масштабі 1:10 000, 1:12 000, за результатами якого створюють ортофотоплан смуги території в масштабі 1:5000–1:10000, і на основі аналізу якого вибирають оптимальний варіант траси.

Для складання робочого проекту виконують польове трасування з розміщенням пікетажу, знімання перетинів трубопроводу з іншими промисловими чи дорожніми об'єктами. Через 2-3 км траси закріплюють репери, не обов'язково глибинні. Висоти точок траси визначають технічним нівелюванням.

Місця переходів через ріки, яри, канали, дороги, залізниці знімають в масштабі 1:500 чи 1:1000 із січенням рельєфу 0,5 м з детальною геологічною розвідкою.

Місця, де будуть розташовані компресорні станції та інші площові об'єкти, знімають в масштабі 1:500 із січенням рельєфу 0,5 м [1].

Перед будівництвом трубопроводу відновлюють його трасу. Під час будівництва необхідне детальне розміщення траншеї як в плані так і по висоті. При облаштуванні повітряних переходів у вигляді естакад чи підвісних мостів через гірські ріки, яри

необхідно особливу увагу приділяти розміченню опор переходу.

Після укладання труби проводять виконавче знімання планово-висотного положення трубопроводу. Трубопроводи потребують систематичного спостереження за деформаціями, бо є екологічно-небезпечними спорудами.

Коли проектують лінії електропередач необхідно враховувати вимогу, щоб віддаль від низу дроту в найнижчому місці до землі чи споруди була більшою за 7-8 м (для ЛЕП 220-500 кВ) та 12 м для ЛЕП 750 кВ. Вибір приблизного варіанту траси ЛЕП здійснюють на основі існуючих матеріалів знімань різноманітного призначення минулих років. Під час польового обстеження траси особливу увагу звертають на місця переходу через великі ріки, перетини з інженерними спорудами.

Будівництво ліній електропередач відрізняється від будівництва інших лінійних споруд – доріг, залізниць в першу чергу тим, що в ЛЕП взагалі відсутні вертикальні та горизонтальні криві в місцях повороту.

Технічні вишукування для коротких ЛЕП виконують наземним методом, а для довгих – аерофотозніманням. При польовому трасуванні ЛЕП пікетаж (через 100 чи 200 м) не розбивають. Фіксують лише характерні точки рельєфу: вершини, низини, точки зміни схилу, а також точки перетину з іншими штучними спорудами. Місця перетину із перешкодами знімають в крупному масштабі із січенням 0,5-1 м. В рівнинній місцевості рекомендують прокладати теодолітні та нівелірні ходи вздовж траси, а в пересіченій місцевості – тахеометричні ходи. Їх точність є відносно низькою: відносна планова похибка теодолітного ходу $1/N_{TEO} = 1/800$, а тахеометричного $1/N_{TAX} = 1/300$, гранична висотна нев'язка геометричного нівелювання $f_{h_{TEO}} = 50\sqrt{L}$, а тригонометричного $f_{h_{TAX}} = 300\sqrt{L}$.

Аерофотознімання виконують в масштабі 1:12000-1:15000, а для великих переходів – 1:5000.

Основна задача розмічувальних робіт – винесення місць під опорами ЛЕП. Ці місця знімають в масштабі 1:500 з обов'язковою геологічною розвідкою. Таке розмічення виконують теж досить грубо. Зміна положення опори до 3 м в плані з технічних причин може здійснюватися без узгодження з проєктантами.

На схемі виконавчого знімання показують планове положення опор, вертикальність опор та віддаль від нижньої точки дроту до

земної перешкоди чи точки.

Сучасні способи виконавчого знімання трубопроводів та ліній електропередач:

- аерофотознімання з безпілотних літальних апаратів;
- повітряне лазерне сканування з безпілотних літальних апаратів.

Сучасні технічні рішення дозволяють встановлювати на «безпілотнику» одночасно і цифрову фотокамеру і лазерний сканер, що реалізує комбіновану знімальну систему.

Запитання для самоконтролю до розділу 8

1. *Які основні етапи вишукувальних робіт для будівництва доріг.*
2. *Які роботи виконують під час відновлення осі дороги?*
3. *На яких відрізках траси частіше розмічують пікети на прямих, чи на кривих?*
4. *Від яких факторів залежить відстань між пікетами під час їх розмічення?*
5. *Чи закріплюють трасу на місцевості, та чи прив'язують її до пунктів державних геодезичних мереж?*
6. *Які складові має полотно автомобільної дороги?*
7. *Який ухил та в якому напрямку має корито під автомобільною дорогою в поперечному перерізі?*
8. *Які допустимі відхилення від проектного значення відміток бровок земляного полотна та ширини корита?*
9. *Від чого залежить значення перевищення зовнішньої рейки залізниці над внутрішньою на кривій?*
10. *Як співвідносяться значення ширини колії на прямих та кривих ділянках?*
11. *Що таке віраж?*
12. *Що таке відгон віражу?*
13. *Від чого залежить довжина відгону віражу?*
14. *Що таке серпантина? Які основні елементи серпантини?*
15. *За яких вимог вибирають місце для перетину автомобільних доріг в одному рівні?*
16. *В яких масштабах виконують знімання території для розробки проекту примикання доріг?*
17. *Для чого використовують стрілочні переводи?*
18. *В яких масштабах виконують знімання території для проектування стрілочних переводів та стрілочних вулиць?*
19. *Для яких цілей виконують періодичне знімання залізничних колій?*
20. *В яких масштабах виконують знімання місць переходів трубопроводів через ріки, яри, канали, дороги?*
21. *При якому максимальному відхиленні від проекту можна змінювати положення опори в плані без узгодження з проєктантами?*

Розділ 9. Геодезичні роботи при будівництві мостових переходів

9.1. Знімання мостового переходу

Мостові переходи – складні споруди, які складаються із:

- моста 1, який, в свою чергу, складається із опор і прольотів;
- земляних дамб 2, які є підходами до мосту;
- системи регулятивних споруд для безпечного пропуску

води.

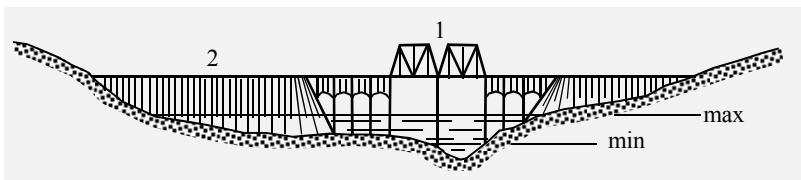


Рис. 9.1. Схема мостового переходу

Перед будівництвом необхідно провести такі вишукування:

- топографо-геодезичні: вибір місця переходу, складання ситуаційного і детального планів, проміри глибин, визначення довжини мостового переходу, створення опорної планово-висотної мережі, розмічення опор;
- інженерно-геологічні – складання геологічного профілю;
- гідрометричні вимірювання: визначення рівнів води, швидкості течії, живого січення.

До місця мостового переходу висувають такі вимоги:

- вісь переходу повинна бути перпендикулярна до напрямку течії (допускають відхилення у $5-10^\circ$, іноді допускають косий перетин);
- перехід слід влаштовувати у найвужчому місці;
- сприятливі геологічні умови, неглибоке залягання корінних порід;

Ситуаційний план призначений для розробки генерального плану мостового переходу. Його створюють на територію, що охоплює ділянку: вверх по течії 1,5 ширини розливу річки, а вниз за течією – одну ширину розливу від осі переходу. Масштаб ситуаційного плану 1:5000 для рік шириною до 500м і 1:10000 для ширших рік. Зйомку можуть виконувати в умовній системі

координат мостового переходу, але висоти – в державній системі. Методи знімання – наземний, аерофотознімання, наземне фотограмметричне знімання.

Опорна геодезична мережа створюється супутниковими спостереженнями або як лінійно-кутова побудова.

Детальний план призначений для складання робочого проекту і розробки проекту підходів до мосту. Територія знімання – 1,5 довжини мосту вгору і вниз від осі мосту, масштаб знімання 1:1000 і 1:2000 для тих же значень ширини річки, які згадувалися раніше.

Обов'язковими є проміри глибини річки: зимою – по льоду, літом – з човна.

9.2. Визначення довжини мостового переходу

Значення довжини мостового переходу необхідно знати з точністю, яка б забезпечувала необхідну точність дотримання довжин мостових прольотів. В [19] пропонують таку формулу

$$\delta_L = \sqrt{n \left(\left(\frac{l}{T} \right)^2 + 0.5 \right)}, \quad (9.1)$$

де δ_L – гранична похибка визначення довжини мостового переходу, l – довжина прольоту в см; T – знаменник допустимої похибки розмічення опор і монтажу прольоту – 1/10000, n – кількість прольотів.

Для $l=100$ м і $n=12$ отримаємо $\delta_L = 4.2$ см. Таку точність легко витримати за допомогою сучасних електронних тахеометрів чи супутникових приймачів, тому саме ці прилади варто застосовувати для визначення довжини мостового переходу.

9.3. Передача висот через водотоки

На кожному березі ріки необхідно закласти мінімум два постійних репери. Середня квадратична похибка визначення висот реперів 3-5 мм, що відповідає точності 3-го класу нівелювання.

Для передавання висоти через річку застосовують такі способи:

- геометричне нівелювання по льоду;

- подвійне геометричне нівелювання;
- тригонометричне нівелювання;
- гідростатичне нівелювання;
- супутникове нівелювання.

Геометричне нівелювання по льоду можна проводити лише зимою. Для виконання робіт вморожують кілки під ніжки нівеліра та під рейки. Недоліком цього методу є те, що лід коливається – зміщується по висоті, причому, нерівномірно. Ефективність цього способу сумнівна, якщо взяти до уваги ще те, що виконувати таке нівелювання можна лише коли річка вкрита льодом.

При **подвійному нівелюванні** на обох берегах закладають два репери приблизно на однаковій висоті з умовою, щоб промінь йшов над водою не нижче 2-3 метри. Станції розташовують на однаковій віддалі 10-20 метрів від реперів. Необхідно витримати вимогу, щоб віддалі від станції до реперів на протилежних берегах були

однаковими $d_{13} = d_{2П}$ та $d_{1П} = d_{23}$.

На станції 1 задньою буде ближня рейка на цьому ж березі, передньою – на протилежному. Після спостереження на першій станції фокусування приладу не змінюють та перевозять на другий берег. На другій станції задньою рейкою буде та, яка на протилежному березі, передньою – на цьому березі.

Перевіщення визначимо

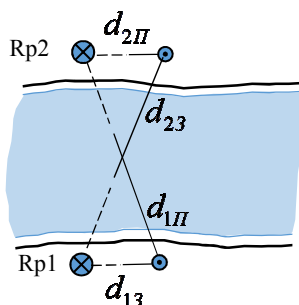


Рис. 9.2. Схема подвійного геометричного нівелювання

$$h_1 = a_{13} - (a_{1П} + \delta); \quad (9.2)$$

$$h_2 = (a_{23} + \delta) - a_{2П}, \quad (9.3)$$

де a_{13} , $a_{1П}$ – відліки на першій станції на задню (ближню) та передню (дальню) рейки відповідно, a_{23} , $a_{2П}$ – відліки на другій станції на задню (дальню) та передню (ближню) рейки відповідно, δ – похибка відліку на дальню рейку викликана непаралельністю візирної осі та осі циліндричного рівня та кривиною Землі та рефракцією. У відлік по ближній рейці вплив цих похибок буде

мізерним. Середнє значення з перевищень (9.2) та (9.3) буде вільне від впливу згаданих похибок δ у випадку, коли за час переїзду кут між візирною віссю та віссю рівня не зміниться, а параметри атмосфери залишаться незмінними.

Виконують кілька прийомів вимірювання на обох станціях. Відліки на задню рейку здійснюють за допомогою спеціальних пересувних щитків з потовченими штрихами. Реєчник пересуває цей щиток, а потім бере істинний відлік з рейки.

Застосування електронних тахеометрів робить ефективним спосіб **тригонометричного нівелювання**. Схема розташування станцій як в попередньому способі. Рекомендують зенітні віддалі вимірювати одночасно двома приладами, встановленими на протилежних реперах. Спостереження виконують в прямому та зворотному напрямках, а перевищення визначають із двостороннього тригонометричного нівелювання.

$$h = S \cdot \operatorname{tg} \frac{z_2 - z_1}{2} + \frac{i_1 + i_2}{2} - \frac{l_1 + l_2}{2}, \quad (9.4)$$

де z_1 та z_2 зенітні віддалі, виміряні відповідно на репері 1 та 2, S – горизонтальне прокладання віддалі між реперами.

Якщо допустити, що висоту інструментів (i_1, i_2) та висоту наведення (l_1, l_2) вимірюють практично безпомилково, то точність обчислення перевищення опишемо формулою

$$m_h^2 = \operatorname{tg}^2 \frac{z_2 - z_1}{2} m_s^2 + \frac{S^2}{\cos^4 \frac{z_2 - z_1}{2}} \frac{m_z^2}{\rho^2}, \quad (9.5)$$

де m_s, m_z – середні квадратичні похибки вимірювання віддалі та зенітної віддалі, $\rho = 206264.8''$ За умов $m_z = 2''$, $m_s = 2 + 2D \cdot 10^{-6}$ мм, а $S = 800$ м похибка визначення перевищення становитиме 7,8 мм, якщо похибку вимірювання зенітної віддалі зменшити до однієї секунди, то $m_h = 4$ мм.

Для реалізації способу гідростатичного нівелювання необхідно по дну ріки прокласти шланг довжиною 500–1000 метрів. Лише один цей конструктивний елемент робить спосіб

гідростатичного нівелювання малоперспективним.

Ефективним тут буде використання супутникового нівелювання при довготривалому статичному способі спостереження, що дозволяє добитися міліметрової точності визначення висот реперів.

9.4. Мостова розмічувальна мережа

При спорудженні малих та середніх мостів спеціально мостову розмічувальну мережу не створюють, а рекомендують використати пункти, якими закріплювали вісь переходу на обох берегах. Цю мережу роблять для великих мостів. Координати пунктів мостової розмічувальної мережі необхідно визначати з похибкою не більшою $m_x = m_y = 7 \text{ мм}$ за [19].

Рекомендовані способи створення такої мережі:

- лінійно-кутові мережі;
- полігонометрія;
- супутникові визначення.

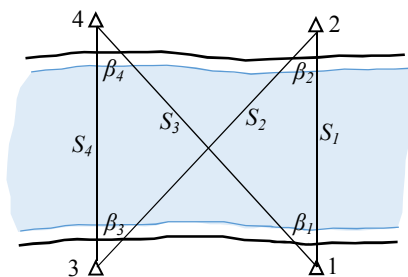


Рис. 9.3. Типова схема лінійно-кутової мостової мережі

Типова схема **лінійно-кутової мережі** показана на рис. 9.3. Напрямки 1-3 та 2-4 рекомендують не вимірювати [19]. Це може бути пов'язано з різними умовами проходження променя. В напрямках 1-3 та 2-4 промінь проходить над землею, у всіх інших – над водою. Часто створюють здвоєну фігуру з шести пунктів, де пункти 1-2

розташовують вздовж осі мосту. Полігонометричні ходи є певним варіантом лінійно-кутової мережі, їх прокладають зліва і справа від осі мосту на віддалі 100 м, щоб пункти не потрапляли в зону будівництва. Якщо є острови, то пункти розташовують на них.

Ефективним способом є супутникові визначення, які дозволяють побудувати мережу будь-якої конфігурації. Необхідно 2 приймачі, якщо координати треба визначати в умовній системі мостового переходу.

9.5. Розміщення центрів мостових опор

Центри опор задаються координатами, пікетажними значеннями, а для контролю – прольотними відстанями.

Роботи значно спрощуються, якщо опори запроектовані на берегах. На неглибоких і несудноплавних річках будують мости, які зміщують паралельно осі на 50-100 метрів, щоб вони були поза зоною будівництва. Якщо є закріплені пункти на осі переходу, то дуже просто знайти центр опори, вимірявши віддаль в створі.

З появою електронних тахеометрів застосовують спосіб полярної засічки, можливо з кількох вихідних пунктів для контролю.

Ефективним є супутникові визначення з приймачами, що працюють в режимі реального часу (RTK).

На глибоких ріках опори розмічують на плаву, попередньо закріпивши їх опори плаваючими віхами. Основа опори – камера чи рамний каркас, на яких замарковано центр і поперечна вісь. Такий каркас підводять до плаваючої віхи та вивіряють в проектне положення одним із згаданих способів і розвертають вісь каркасу вздовж осі мосту. Така процедура є дуже трудомісткою, її виконують методом наближень. Кінцеве положення центру уточнюють в процесі будівництва опори.

Ефективним для цих робіт може бути використання електронного тахеометра з видимим лазерним променем.

Якщо є можливість встановити електронний тахеометр на опорі, то можна використати метод вільної станції з редукуванням положення станції до проектного значення методом наближень.

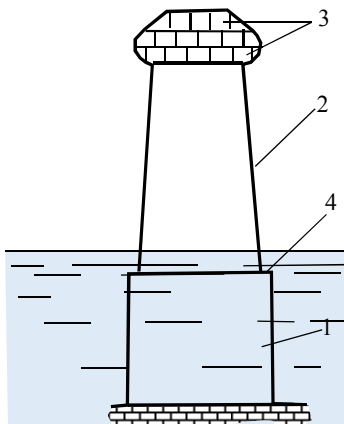


Рис. 9.4. Схема опори мосту

9.6. Детальне розміщення опор мосту

Опора має такі частини: фундамент 1, тіло опори 2, підфермова частина – 3, уступ – 4. Фундамент опори заглиблюють до корінних порід. Верх фундаменту має більші розміри ніж низ тіла опори, через що утворюється уступ 4 розміром до 0,5 метра. Це дозволяє під час розміщення, якщо необхідно, змістити тіло опори в цих межах.

Опори споруджують такими

способами: на палях, в колодязі, який опускають та кесоном.

Палі-оболонки – це залізобетонні труби, які опускають в ґрунт вібратором. З труб вибирають ґрунт та заповнюють їх бетоном чи залізобетоном. На верх палі кладуть залізобетонну плиту, на якій монтують тіло опори.

Кесон – камера (рис. 9.5), закрита зверху і відкрита знизу. Вода видаляється повітрям під тиском 2,5 атмосфери. Через особливі шахти спускаються робочі, які роздроблюють ґрунт та викачують його на зовні. Камера під своєю вагою повільно опускається. Зверху споруджують надкесонну частину так, щоб вона була постійно вище води. Після досягнення проектної глибини, основу під кесоном та саму всю камеру бетонують. Кесон опускають до 35 метрової глибини.

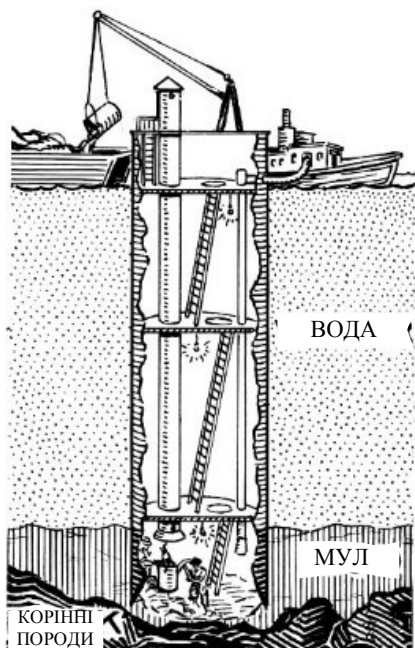


Рис. 9.5. Спорудження опори за допомогою кесону

Колодязь, який опускають, має відкритий низ і верх. Ґрунт видаляють грейфером. По мірі опускання колодязя його стінки нарощують над водою. Потім бетонують основу і сам колодязь. Максимальна глибина – 50 метрів.

Якщо опора знаходиться на березі чи острові, то розміщення контуру фундаменту легко виконати способом вільної станції електронним тахеометром. При глибині ріки до 5-6 метрів на місці опори наминають острів, а при більшій глибині – детальне розміщення виконують з понтону.

Розміщення контуру камери чи палі виконують з точністю 1 см. Кесон чи колодязь встановлюють на вирівняну горизонтально поверхню, ніж камери вивіряють також в горизонтальне положення.

На воді палі споруджують за допомогою каркасу на понтонах (рис. 9.6). На каркасі замарковані центр, напрямки осей x і y та змонтовані отвори для встановлення палі. Каркас підвозять до

місця встановлення, закріплюють якорями та методом наближень вивіряють в проектне положення.

При використанні кесона чи колодязя геодезичні роботи зводяться до систематичного контролю за опусканням камери та розмічування опалубки для спорудження верхньої частини опори.

При опусканні камери контролюють:

- глибину опускання камери і висоту ножа;
- нахил ножа в двох площинах;
- зміщення центру камери в плані.

Для вимірювання глибини на зовнішній стіні камери наносять шкалу з поділками через 1 дм. Нуль співпадає з низом ножа. По мірі опускання шкалу нарощують. Глибину визначають нівеліром, взявши відлік по шкалі та по рейці, яка стоїть на репері.

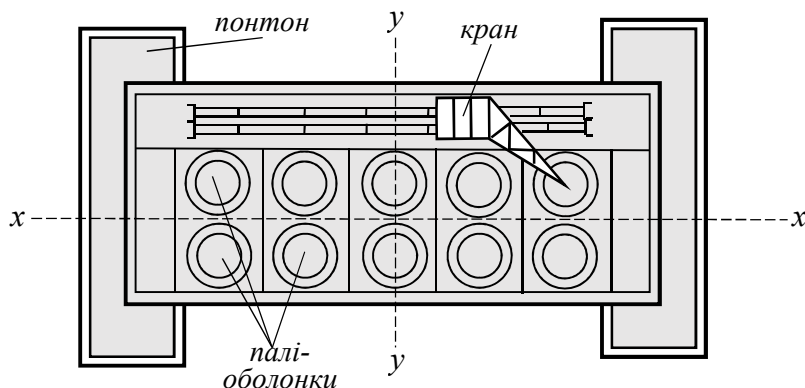


Рис. 9.6. Спорудження паль за допомогою каркасу на понтонах

Для контролю вертикальності опускання кесона на внутрішній стіні монтують 4 марки по осях на висоті 1,5 метра від низу. Перед початком робіт при горизонтальному положенні камери, визначають перевищення між марками та вимірюють віддалі. При опусканні кесона періодично нівелюють марки та контролюють перевищення і обчислюють поперечний та поздовжній ухили $i = \Delta h / d$. Лінійна величина крену $q = ih$, де h – глибина опускання кесона. Повне планове зміщення Δl камери (рис. 9.7) визначають перевіривши центр опори. Як правило присутні одночасно і планове зміщення і крен. Спостерігаючи за центром опори можна визначити загальне зміщення, яке є

результатом планового зміщення і крену

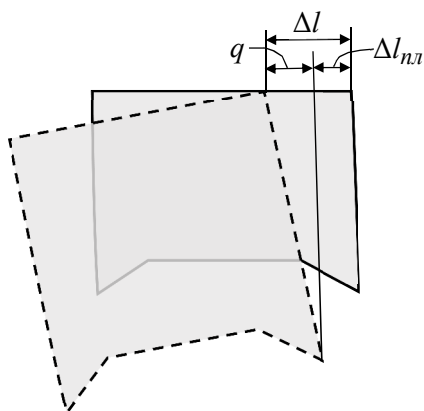


Рис. 9.7. Повне зміщення кесона

$$\Delta l = \Delta l_{пл} + q \quad (9.6)$$

і від нього лише планове зміщення та вжити міри по усуненню відхилень.

Крен камер великого діаметру визначають за допомогою важких висків, які розміщують на осях на віддалі 10-15 см від стінок. Виски необхідно переносити вверх по мірі будівництва. Гранична похибка планового зміщення камери не повинна перевищувати 1/100 глибини опускання. Для

якісного результату необхідно контролювати планово-висотне положення опалубки, яку нарощують по мірі опускання камери.

Після досягнення проектної висоти фундаменту опори на ньому розмічають ще раз центр опори і відносно цього центру монтують опалубку тіла опори. Таким чином можна змістити центр тіла відносно центру фундаменту для дотримання проектного положення.

Контроль опалубки тіла колони контролюють періодично. Найбільш скрупульозно розмічують підфермову частину, на яку будуть опиратися прольоти мосту.

Після закінчення спорудження проводять виконавче знімання:

- визначають координати центрів опор та розміри прольотів;
- нівелюють підфермову частину;
- детально знімають опори та регуляційні споруди.

Реальні розміри мостових прольотів не повинні відрізнятися від проектних більше ніж на 1-2 см. На опорах закріплюють нівелірні репери, їх висоти визначають за точністю нівелювання 4 класу.

9.7. Вивірка мостових прольотів. Спостереження за деформаціями

Конструкції обпирання прольотних споруд на підфермові частини дозволяють невелике зміщення кінців під впливом коливань температури. Монтаж прольотних конструкцій може

здійснюватися кількома способами: навісний монтаж в прольоті, збирання на березі, а потім насування в проліт, збирання на березі, а потім перевезення по воді до місця монтажу. Але незалежно від способу монтажу геодезичні роботи включають:

- детальне розмічення поздовжньої осі та періодичну перевірку співвісності елементів, які споруджують: перевірку можна здійснювати з основної осі, або з додаткової (монтажної) осі, яку розміщують паралельно основній на віддалі $l = b/2 + 0.5$ м (b – ширина конструкції); в другому випадку використовують бокове нівелювання; відхилення не можуть перевищувати 5 мм;
- контроль встановлення основних вузлів ферм по висоті та вивірка так званого будівельного підйому; середня квадратична похибка не повинна перевищувати 2-3 мм;
- періодичні контрольні спостереження в процесі монтажу за деформаціями тимчасових опор та монтажних підмосток, а також осідань нівелірних реперів.

Якщо прольотна конструкція збирається на березі, то для неї виконують розмічення усіх конструктивних елементів на березі: поздовжню вісь та осі опор, положення кожної секції конструкції.

Контроль будівельного підйому ферм здійснюють, як правило, геометричним нівелюванням в похмуру погоду для уникнення різких температурних деформацій через нерівномірне нагрівання сонячними променями. Форма будівельного підйому – плавна, вигнута догори крива. Параметри цієї кривої задають проектувальники.

Ефективним в процесі монтажу може виявитися використання приладів (як тахеометрів, так і нівелірів) з видимим лазерним променем, за допомогою якого здійснюють контроль встановлення в проектне положення конструкцій мосту.

Після завершення монтажу проводять виконавче знімання, за результатами якого складають план прольотних конструкцій, профілі будівельного підйому ферм та поздовжні профілі залізничних колій чи покриття автомобільної дороги. Як завжди, на цих матеріалах показують проектне положення вузлів та значення і напрямки зміщення реального положення точки. Рекомендують виконавче знімання здійснювати в похмуру погоду для уникнення деформаційних похибок за нерівномірний нагрів.

Після закінчення будівництва виконують спостереження за осіданнями та горизонтальними зміщеннями опор мосту. Роботи

проводять через 1-3 місяці та після весняного і осіннього паводків. Зверху на підфермовій частині вздовж осей біля країв на кожній опорі закладають 4 марки, висоти яких визначають за програмою нівелювання II класу. Середня квадратична похибка визначення осідань не повинна перевищувати 1,5 мм.

Зміщення опор в плані відбувається під дією тиску води в напрямку течії. Тому й зміщення варто очікувати саме в цьому напрямку, хоч можливі і бокові зміщення. Історично пропонують [7; 19] спосіб вимірювання відхилень від створу, коли на протилежних берегах закріплюють лінію (створ), відносно якого визначають зміщення. Але бокових зміщень цієї процедурою виявити неможливо. При використанні електронних тахеометрів можливе визначення просторових координат деформаційних марок на опорах, що забезпечить більш повну картину деформаційного процесу. Точність визначення планових зміщень не більше 5 мм.

Ефективними способами виконавчого знімання та моніторингу деформаційних процесів мосту можуть бути:

- вільна станція з електронним безвідбивним тахеометром;
- наземне лазерне сканування;
- фототеодолітне наземне знімання;
- спостереження за допомогою глобальних супутникових навігаційних систем ГНСС.

Всі ці способи забезпечують автоматизацію процесу вимірювань та обчислень, отримання одразу просторової інформації для кожної точки, оперативність отримання даних.

Запитання для самоконтролю до розділу 9

- 1. Які вишукування необхідно провести перед будівництвом мосту?*
- 2. Які вимоги висувають до вибору місця мостового переходу?*
- 3. На яку територію створюють ситуаційний план мостового переходу?*
- 4. В якому масштабі створюють ситуаційний план мостового переходу?*
- 5. На яку територію створюють детальний план мостового переходу?*
- 6. В якому масштабі створюють детальний план мостового переходу?*

7. Вкажіть порядок виконання робіт при подвійному геометричному нівелюванні для передачі висот через ріку.

8. Яку вимогу необхідно витримати при виборі місць станцій при подвійному геометричному нівелюванні?

9. Яким чином мінімізують вплив похибки через непаралельність візирної осі та осі циліндричного рівня та через кривину Землі та рефракцію при подвійному геометричному нівелюванні?

10. Вкажіть порядок вимірювань при передачі висоти через ріку способом тригонометричного нівелювання.

11. Для яких мостів спеціальну мостову розмічувальну мережу не створюють?

12.3 якою похибкою необхідно визначати координати пунктів мостової розмічувальної мережі?

13. Перерахуйте рекомендовані способи створення мостової розмічувальної мережі.

14. Чому рекомендують не вимірювати напрямки в типовій схемі лінійно-кутової мостової мережі, які проходять лише над поверхнею землі?

15. Який режим роботи та опрацювання даних ГНСС приймача необхідний для розмічувальних робіт?

16. Якими способами споруджують опори мосту?

17. Що таке кесон?

18. Які складові має загальне зміщення кесона під час опускання?

19. Яка гранична похибка планового зміщення камери кесона?

20. Яку з частин опори мосту (фундамент, тіло опори, підфермова частина) необхідно розмічувати з найвищою точністю?

21. Що включають в себе геодезичні роботи для вивірки мостових прольотів?

22. Чому контроль будівельного підйому ферм мосту (як і виконавче знімання) рекомендують виконувати в похмуру погоду?

23. Коли, як правило, виконують спостереження за осіданнями та горизонтальними зміщеннями опор мосту?

24. Чи пов'язані терміни спостережень за осіданнями опор мосту з паводками?

25. Перерахуйте сучасні ефективні способи виконавчого знімання та моніторингу деформаційних процесів мосту?

Тема 10. Геодезичні роботи при будівництві аеропортів

10.1. Геодезичні вишукування для аеропортів

Аеропорт – дуже складна й відповідальна споруда, до складу якої входить аеродром, смуги повітряних підходів, службово-технічна територія, об'єкти управління повітряним рухом, об'єкти радіонавігації та посадки. Головну злітно-посадкову смугу розташовують в напрямку панівних вітрів. Часто споруджують допоміжну (другу, а часом і третю) злітно-посадкову смугу. Є бокові та кінцеві смуги безпеки, місця стоянки літаків, стернові доріжки. Доріжки та смуги мають бетонне покриття. Для забезпечення безпеки польотів у смугах повітряних підходів обмежують висоту споруд (перешкод) – в напрямку «зліт-посадка» ухил обмежувальної площини $1/200$ - $1/100$, в поперечному напрямку – $1/25$.

До службово-технічної території включають: аеровокзал, перони, ремонтні підприємства, склади та ін.

Основні вимоги до вибору території аеропорту такі:

- площа ділянки повинна бути достатньою для розміщення споруди;
- можливість розташування злітно-посадкової смуги в напрямку панівних вітрів;
- необхідно, щоб ухил місцевості льотного поля не перевищував $0,02$;
- наявність відкритих смуг повітряного підходу;
- стійкі ґрунти, глибоке залягання ґрунтових вод.

На етапі техніко-економічного обґрунтування вибирають місце розташування аеропорту.

При будівництві крупних аеропортів проектування здійснюють в два етапи:

1. Вишукування для технічного проекту: трасування на місцевості головної злітно-посадкової смуги, розміщення паралельно цьому напрямку сітки квадратів 400×400 метрів, знімання в масштабі $1:5000$ з висотою січення рельєфу $0,5$ - 1 м, спрощене знімання повітряних підходів з характеристикою перешкод (визначення їх висот);

2. Вишукування для робочого проекту: створення опорної мережі, знімання в масштабі $1:2000$ з січенням $0,5$ - $0,25$ м (автори [1; 7; 19] рекомендують нівелювання квадратами), знімання забудованих територій в масштабі $1:1000$, вишукування трас під'їзних шляхів, ЛЕП, трубопроводів.

10.2. Геодезична опорна мережа. Знімання

Геодезичну опорну мережу, яку створюють на етапі вишукування, використовують і для розмічувальних робіт. Пункти геодезичної мережі повинні співпадати з вершинами сітки квадратів розміром 400×400 м. Середня квадратична похибка взаємного положення пунктів не повинна перевищувати в плані 10 см, по висоті – 25 мм.

Території, які підлягають зніманню, мають такі площі: в масштабі 1:5000 – близько 20 кв. км, в масштабі 1:2000 – 5-8 кв. км та в масштабі 1:500-1:1000 – 1 кв. км.

Способи створення геодезичної мережі: полігонометрія, лінійно-кутова мережа чотирикутників без діагоналей. Пункти планової та висотної мереж суміщають. Опорна нівелірна мережа повинна мати точність 3 класу нівелювання. Її згущення здійснюють нівелюванням 4 класу. Репери закладають на 0,5 м глибше глибини промерзання. Опорну мережу прив'язують до ДГМ.

Основну сітку квадратів 400×400 м розміщують паралельно осі основної злітної смуги. Для знімання масштабу 1:5000 для значних площ рекомендують навіть аерофотознімання (осі маршрутів розташовують паралельно основній злітній смузі), але, як правило, – тахеометричне знімання. Знімання в масштабі 1:2000, 1:1000 виконують способом нівелювання квадратами: для 1:2000 – сітку згущують до розмірів 40×40 м, а для 1:1000 – до 20×20 м. На забудованій території сітку квадратів не створюють. Яри знімають тахеометричним способом.

Особливу увагу звертають на знімання місць примикання під'їзних шляхів та інженерних мереж до вже існуючих об'єктів.

При зніманні повітряних підходів висоти перешкод визначають тригонометричним нівелюванням. Для цих цілей в сучасних електронних тахеометрах розроблена прикладна задача – визначення висоти недоступної точки. Рекомендують [1; 19] також застосовувати спосіб наземного стереотопографічного знімання, яким можна з однієї пари знімків визначити висоти великої кількості перешкод з похибкою до 10 см при віддалі до 2 км від приладу до перешкоди.

Ефективним тут видається наземне лазерне сканування, яке дозволяє поруч із цифровою моделлю місцевості, отримати тримірну модель усіх перешкод.

10.3. Розмічування осей аеродрома

Перед розмічувальними роботами перевіряють стан пунктів геодезичної мережі, які використовувалися для вишукувань. При використанні електронно-цифрових тахеометрів достатньо щоб збереглося мінімальне число вихідних пунктів (3-5) за умови їх видимості з усієї території будівельного майданчика. Розпочинають розмічення з поздовжньої осі основної злітної смуги (початкова та кінцева точки). На осі розмічають пікетаж. Саму вісь закріплюють 4-ма пунктами, розташованими за межами смуги по 2 з кожної сторони. Потім розмічують осі інших злітних смуг, а від них – розмічують всі інші споруди. Рекомендований спосіб винесення в натуру – спосіб вільної станції з електронним тахеометром. Ефективним буде застосування прикладних програм електронного тахеометра, спеціально призначених для розмічування осей – таких як *базова лінія*, або інших аналогічних. Виконавче знімання розмічення об'єктів проводять в масштабі 1:5000.

10.4. Розмічувальні роботи при переміщенні землі

Земляні роботи виконують в два етапи: чорнове, попереднє вирівнювання, потім – остаточне до проектних відміток. Для розмічення використовують *спосіб квадратів* з кроком сітки 40×40 м, а для корита смуг – з кроком 20×20 м. При винесенні проектних відміток у вершинах квадратів враховують те, що верхній шар ґрунту 10-15 см перед роботами знімають та складують, а потім відновлюють. Тому проектні висоти зменшують на ці 10 см. На кожному кілочку підписують робочі відмітки (*робоча відмітка = відмітка землі мінус проектна відмітка*). Спочатку виконують чорнове переміщення землі. Потім знову виносять проектні висоти у вершинах сітки та здійснюють остаточне розпланування. Ущільнюють землю, відновлюють верхній шар, сіють траву, удобрюють, ще раз ущільнюють. Після цього проводять виконавче знімання. Відхилення від проекту не повинні перевищувати ±50 мм.

Спосіб квадратів має суттєвий недолік при переміщенні землі спеціальним транспортом – знищення кілків у вершинах квадратів, що не дозволяє відслідкувати проектні відмітки. Для усунення цього недоліку застосовують тахеометричний спосіб, за яким в натуру виносять характерні точки:

- точки перетину проектних горизонталей з горизонталями

землі – точки нульових робіт;

- точки вигину проектних горизонталей;

- точки, де горизонталі відходять одна від одної на найбільшу віддаль – місця найбільшого переміщення землі.

При такому способі проектні точки розміщуються вздовж напрямку переміщення землі. Недоліком були значні затрати на складання розмічувальних креслень та обчислення розмічувальних елементів, але з використанням комп'ютерних програм та електронних тахеометрів це перестало бути недоліком.

Розмічення земляного корита під злітними смугами виконують від поздовжньої осі шляхом побудови поперечників через 20 м. Дно корита повинно дублювати двоскатний профіль самої злітної смуги. Після ущільнення землі в кориті проводять виконавче знімання в масштабі 1:1000. Допускаються відхилення висот дна корита від проектних значень не більше ± 30 мм. Для відводу води зі злітної смуги збоку розмічують лотки, по яких дощова вода буде стікати в колодязі.

Безумовно, найбільш ефективним в даному випадку буде застосування автоматизованих геодезичних систем управління будівельною технікою для земляних робіт, які описані в п. 14.1, 14.2. Ці системи значно пришвидшують виконання розпланувальних земляних робіт, дозволяють відмовитися від традиційних «кілочків» та ліквідують фактично етап розмічувальних робіт, адже цими системами в проектне положення виставляють зразу робочий орган екскаватора чи грейдера.

10.5. Геодезичні роботи під час бетонування покриття злітної смуги

Перед бетонуванням злітної смуги в корито вкладають штучну основу (пісок, щебінь). Для цього розмічують проектні висоти штучної основи. Після вкладання та ущільнення основи – виконавче знімання. Граничне відхилення висот основи від проекту до 2 см. Потім необхідно розмітити проектні висоти бетонного покриття. Бетонне покриття влаштовують спеціальними машинами. За результатами виконавчого знімання відхилення висот бетонної подушки від проекту не повинно перевищувати 5 мм.

10.6. Розмічення підземних комунікацій аеродрому

Підземні комунікації – водотоки, водопроводи, кабелі, як правило, прокладають вздовж злітних смуг. Тому їх розмічення виконують від поздовжньої осі злітної смуги, методом *вільної*

станції, використовуючи прикладну програму електронного тахеометра *базова лінія*. Ефективним тут буде використання лазерних приладів для розмічування (див. пп. 1.4, 1.5), які формують видимий лазерний промінь. Будівництво підземних комунікацій, як правило, виконують до початку планувальних земляних робіт. План виконавчого знімання будують в масштабі 1:2000. Крім традиційних, рекомендую сучасні методи виконавчого знімання підземних комунікацій: повітряне лазерне сканування та аерофотознімання з безпілотних літальних апаратів.

Запитання для самоконтролю до розділу 10

1. В якому напрямку розташовують головну злітно-посадкову смугу?
2. Які основні вимоги до вибору території під аеропорт?
3. Які геодезичні вишукування виконують для технічного проекту та для робочого проекту аеропорту?
4. З якою плановою та висотною точністю необхідно створювати геодезичну опорну мережу аеропорту?
5. Які основні способи створення геодезичної мережі аеропорту?
6. Для яких цілей рекомендую застосовувати наземне стереотопографічне знімання для аеропорту?
7. Топографічне знімання яких масштабів необхідно виконувати для будівництва аеропорту?
8. Які осі аеродрому розмічують в першу чергу?
9. Як вирахувати робочі відмітки для переміщення землі?
10. Яке граничне відхилення по висоті розпланованої земельної ділянки аеродрому від проекту?
11. Який основний недолік способу квадратів при розплануванні землі?
12. Як відбувається розпланування землі тахеометричним способом?
13. Яке граничне відхилення висот землі дна корита під злітною смугою від проектного значення?
14. Яке граничне відхилення висот бетонної подушки злітної смуги від проекту?
15. В якому масштабі будують план виконавчого знімання підземних комунікацій аеродрому?

Тема 11. Геодезичні роботи при будівництві гідротехнічних споруд

11.1. Гідротехнічні споруди

Гідротехнічними називають споруди, які призначені для використання водних ресурсів. Найбільше використовують воду так звані водозабори – це споруди, які забирають воду з водойм для водопостачання населених пунктів та промислових об'єктів, зрошення сільськогосподарських угідь. Гідротехнічні споруди дуже різноманітні: водосховища, греблі, дамби (захисні, регулювальні), вали, набережні, береги з укріпленими відкосами, моли, причали, пірси, пристані, водоскиди на дамбах, маяки, гідроелектростанції, шлюзи, дюки, канали (в тому числі зрошувальні), водомірні пости, футштоки. Будівництво багатьох із них (водосховища, гідроелектростанції) викликає глибокі дискусії стосовно доцільності їх спорудження, стосовно їх впливу на природу. Тому, в цьому розділі ми обмежимося розглядом лише тих питань, які часто зустрічаються в практиці виробництва.

11.2. Складання поздовжнього профілю ріки

При побудові поздовжнього профілю ріки необхідно визначити рівень води у всій річці в один момент. Для довгих рік це зробити неможливо. Тому висоти води приводять до моменту вимірювань у найнижчому місці.

Для побудови профілю вздовж берега річки прокладають магістральний нівелірний хід. Його точність визначимо, виходячи з таких міркувань. Середня квадратична похибка визначення ухилу ріки за дослідженнями авторів [8] складає $m_i = 0.072 \cdot i$. Загалом відносна похибка ухилу залежить лише від похибок визначення перевищення

$$m_i / i = m_h / h, \quad (11.1)$$

де m_h – середня квадратична похибка визначення перевищення води. Для магістрального ходу задамо похибку вдвічі меншу за m_h . Тоді

$$m_h = 0.036h. \quad (11.2)$$

З іншої сторони

$$m_h = m_{1\text{км}} \cdot \sqrt{L}, \quad (11.3)$$

де $m_{1\text{км}}$ – випадкова середня квадратична похибка визначення перевищення на 1 км ходу. Підставивши (11.3) в формулу (11.2) вирахуємо $m_{1\text{км}}$

$$m_{1\text{км}} = 0.036h / \sqrt{L}. \quad (11.4)$$

Знаючи перепад висот води в річці на ділянці в 1 км, знайдемо $m_{1\text{км}}$, за яким визначимо клас нівелювання для магістрального ходу.

Рівень води в річці фіксують через 1-3 км та в характерних точках: перекатах, порогах, місцях різкого повороту, на ділянках з островами, у верхньому та нижньому б'єсах греблі, біля мосту, там, де впадає притока. Приблизно через 30-50км в характерних точках встановлюють тимчасові водомірні пости, на яких систематично визначають рівень води.

Характерні точки річки, в котрих забивають кілки для визначення рівня води, називають точками одноденного зв'язку (ТОЗ). Робочі нівелірні ходи від магістрального ходу до точок води прокладають висячими з вимірюванням «туди і назад».

Середня квадратична похибка падіння води між двома ТОЗ

$$m_h = \sqrt{m_L^2 + m_{l_1}^2 + m_{l_2}^2 + 2m_\phi^2}, \quad (11.5)$$

де m_L – середня квадратична похибка магістрального ходу між сусідніми реперами, m_{l_1} та m_{l_2} – середні квадратичні похибки робочих ходів, m_ϕ – середня квадратична похибка фіксації рівня води. Останню приймають рівною 10 мм, при малих ухилах 5 мм.

Разом з нівелюванням ТОЗ визначають глибину ріки по фарватеру. За результатами спостереження на водомірних постах шляхом інтерполювання всі висоти приводять на одну дату.

Поздовжній профіль річки складають в таких масштабах: горизонтальному 1:25000-1:100000, вертикальному 1:100.

11.3. Топографо-геодезичні роботи на водосховищах

Перед греблею глибина ріки зростає, зростає площа живого січення водної поверхні, зменшується швидкість течії. За рахунок цього профіль водної поверхні у поздовжньому напрямку має вигляд ввігнутої кривої, яку називають кривою підпору (рис. 11.1). Перевищення найдальшої від греблі точки водосховища визначається за формулою [8]

$$\Delta h = \frac{lQ^2 p}{C^2 w^2}, \quad (11.6)$$

де p – змощений периметр, Q – витрати води, w – площа живого січення, l – довжина водосховища, C – постійна. Для великих водосховищ $l=20$ км $\Delta h=0,76$ м.

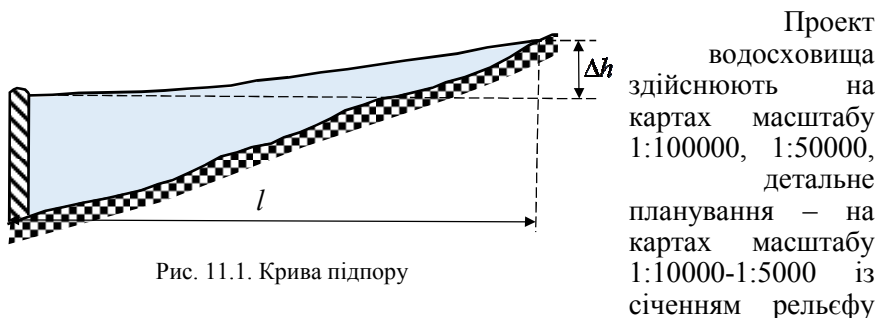


Рис. 11.1. Крива підпору

1-2 м.

Найбільш масовою задачею при розмічувальних роботах є визначення контуру підтоплення, яке зводиться до винесення в натуру горизонталі затоплення. Але при великих територіях затоплення необхідно враховувати перевищення кривої підпору. Задача зводиться до відшукування на місцевості точок, висота яких співпадає з проектною висотою. Точність виносу – технічне нівелювання. Наглядний спосіб – геометричне нівелювання. Відлік по рейці b , який відповідає проектній висоті вирахуємо за формулою

$$b = ГП - H_{np}, \quad (11.7)$$

де $ГП$ – горизонт приладу, H_{np} – проектна висота затоплення.

Ефективним буде тригонометричне нівелювання з електронним тахеометром. Густота точок контуру залежить від розміру зони затоплення, віддалі між ними може коливатися від 20 до 300 м.

11.4. Знімання русла

Знімання русла здійснюють для вирішення кількох задач: дослідження глибини водного потоку, ухилів водної поверхні, руху наносів, стану берегів. За періодичними зніманнями русла відслідковують зміну самого русла та деформацію берегів. Найважливіше під час такого знімання – повно і точно визначити глибини ріки та особливості русла ріки. Для рік шириною 200-500 м виготовляють план в масштабі 1:2000, 1:5000 із січенням рельєфу 0,25 м–0,5 м, для ширших рік – 1:10000 і 0,5-1,0 м відповідно.

Положення промірних точок та берегової ситуації необхідно визначити із похибкою не більшою 1,5 мм в масштабі плану. Це приблизно втричі грубіше вимог до планового положення твердих контурів топографічних планів. Планово-висотне обґрунтування – лінійно-кутові побудови, полігонометрія. Граничні нев'язки висотних ходів не повинні перевищувати половини падіння висоти води h

$$g_{\text{ран}f_h} = 0.5h. \quad (11.8)$$

Поперечні профілі вздовж яких вимірюємо глибину називають галсами. Їх розміщують через 1-2 см в масштабі плану, промірні точки вздовж галса – через 0,5-1 см а то й 0,25-0,5 см. Необхідно визначати планове положення кожної точки проміру глибин. Крім того, ведуть спостереження на водомірних пунктах за рівнем води в річці в момент промірів.

Глибину визначають ехолотом, встановленим на катер. Точність вимірювання – 1-2% від глибини. Планова прив'язка точки проміру – електронним тахеометром в режимі вимірювання – «трек» – на рухому ціль. Більш високопродуктивним методом – є застосування комбінованої системи **ГНСС-приймач/ехолот**, якою одразу отримують прив'язаний до заданої системи координат підводний рельєф у вигляді ЦМР. Ілюстрацією такої системи є двочастотний ехолот *Bathy-500 df*, який дозволяє підключати GPS-приймач. Така система дозволяє визначати глибину дна з точністю $h/200$.

Через обертання Землі ріки в Північній півкулі, що течуть на південь матимуть висоту води біля правого берега вищу на

$$h_{1w} = \frac{2vwS \sin \varphi}{g}, \quad (11.9)$$

де v – швидкість течії, $\omega = 7.29 \cdot 10^{-6} \text{ 1/c}$ – кутова швидкість обертання Землі, g – прискорення вільного падіння, φ – широта, S – ширина ріки.

На різких поворотах ріки висота водної поверхні біля зовнішнього берега буде більшою через відцентрову силу. На плані ріки глибини водної поверхні показують ізобатами.

11.5. Гідромеліоративні вишукування

В теперішній час застосовують лише зрошувальні меліорації, а серед зрошувальних перевагу віддають крапельному – точковому зрошуванню, при якому подача води здійснюється примусово. Детально про гідромеліоративні вишукування можна прочитати в [8].

Запитання для самоконтролю до розділу 11

1. Яким чином реалізують вимогу визначення рівня води на один момент для довгих рік?
2. Від чого залежить точність прокладання магістрального нівелірного ходу вздовж річки?
3. В яких точках фіксують рівень води в річці для складання поздовжнього профілю?
4. В яких масштабах (горизонтальному та вертикальному) складають поздовжній профіль річки?
5. Через які фактори утворюється крива підпору на водосховищах?
6. Від яких параметрів залежить перевищення найдальшої точки від греблі?
7. Яка найбільш масова задача при розмічувальних роботах водосховища?
8. З якою висотною точністю необхідно виносити в натуру контур зони підтоплення водосховища?
9. Для вирішення яких задач виконують знімання русла річки?
10. В яких масштабах будують план русла річки?
- 11.3 якою граничною похибкою необхідно визначати планове положення промірних точок та берегової ситуації річки?
12. Що таке галси?
- 13.3 якою густиною розміщують промірні точки при зніманні русла річки?
14. Яким приладом вимірюють глибину ріки в промірних точках?
15. Через які причини ріка матиме різну висоту води біля протилежних берегів?
16. Що таке ізобати?

Тема 12. Геодезичні роботи при будівництві тунелів, підземних та прецизійних споруд

12.1. Загальні відомості про тунелі і підземні споруди

До підземних споруд відносять тунелі, ангари, гаражі, галереї і камери різного призначення.

Підземні камери великих розмірів зводять в енергетиці та гідротехніці. В таких же камерах розміщують реактори і допоміжне обладнання на атомних електростанціях. Вертикальні шахти між поверхнею і проектним рівнем під землею називають стовбурами.

Основний конструктивний елемент підземної споруди – його зовнішня оболонка – облицювання – для захисту підземної виробки і споруди від небезпечних деформацій від тиску гірських порід. Вибір її конструкції, форми і розмірів залежать від призначення і способу зведення

споруди, а також від інженерно геологічних умов і прогнозованих величин гірського тиску. В поперечному перерізі оболонка може мати прямокутну, круглу форму чи форму дуги (рис. 12.1).

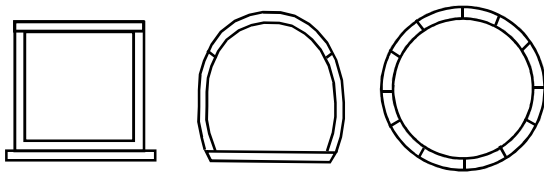


Рис. 12.1. Форми оболонок підземних споруд

Спорудження тунелів здійснюють трьома способами:

- тунелепрохідним комплексом (ТПК від англ. TBM – Tunnel Boring Machine) з використанням бурової тунелепрохідної машини.

- NATM або новий австрійський метод проходки тунелів (від англ. NATM – The New Austrian Tunneling method). Даний метод застосовують на ділянках, де діаметр прохідницького щита був недостатнім (наприклад, на розвилках). Тунель розширювали за допомогою екскаваторів з встановленими на них гідравлічними пізаками.

- відкритий спосіб (англ. Cut & Cover).

Тунелі, споруджені відкритим способом, мають прямокутний переріз а закритим – круглий переріз. Станції, що розташовані неглибоко будують відкритим способом. Станції глибокі будувалися зверху вниз. Спочатку з щільно підігнаних бетонних

паль будувалися водонепроникні стіни навколо станції, щоб запобігти проникненню води. Даний метод, по-перше, екологічний, а по-друге, має більш високий рівень шумоізоляції і стійкості до вібрації [1].

Залежно від призначення тунелі можна поділити на такі групи:

- тунелі на шляхах сполучення (залізничні, автодорожні, метрополітени, судноплавні, пішохідні);
- гідротехнічні тунелі (підводять і відводять воду в гідроенергетичних комплексах, в системах водопостачання і меліорації);
- комунальні тунелі (каналізаційні колектори, водостоки, тунелі для укладання підземних комунікацій);
- промислові та гірничопромислові тунелі;
- спеціальні тунелі.

Глибокі тунелі метрополітену споруджують переважно закритим щитовим способом або через портали (рис. 12.2), або за допомогою

стовбурів (рис. 12.3).

Портал – вхід (перехід)

з поверхні Землі в тунель – під

землю. Рампа –

це довга виїмка з укріпленими стінками, що поступово збільшується.

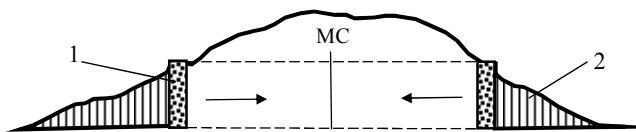
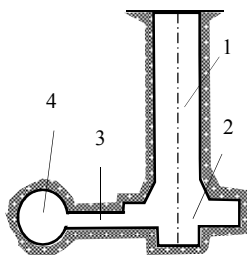


Рис. 12.2. Будівництво тунелю через портали:
1 – захисна бетонна стіна, 2 – рампа, MC – місце

поперечний розріз



план

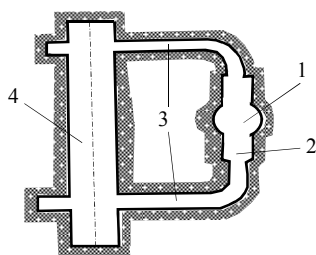


Рис. 12.3. Будівництво тунелів через стовбури:

1 – стовбур, 2 – двір для руди, 3 – підхідні штольні, 4 – траса тунелю

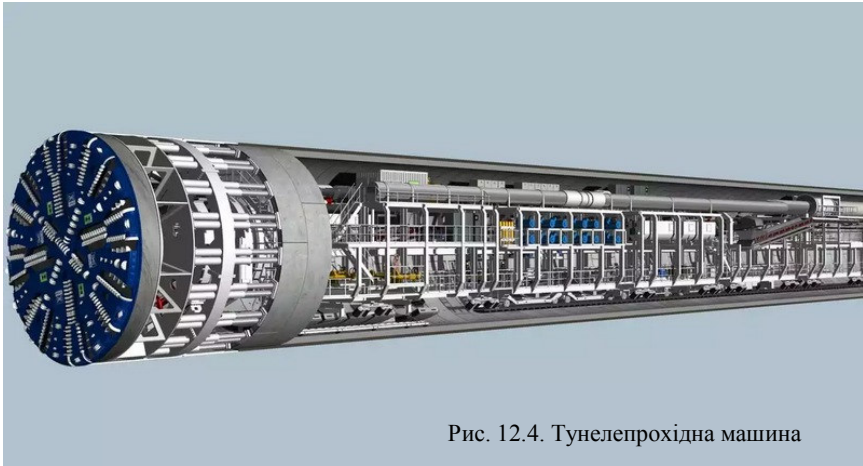


Рис. 12.4. Тунелепрохідна машина

Тунелепрохідна машина (рис. 12.4) являє собою жорстку пересувну конструкцію, що складається з ножової частини, опорного кільця, гідравлічних домкратів і оболонки. Ножова частина розкришує породу, порода по транспортеру передається на поверхню. На місце вийнятої породи за допомогою домкратів встановлюються залізобетонні блоки, які після монтажу утворюють замкнутий контур – оболонку, що утримує тиск гірських порід.

Розрізняють три габарити тунелю: габарит рухомого складу, габарит обладнання і габарит будови. Габарит (ширина і висота перерізу) рухомого складу – це контур, всередині якого поміщається поїзд (вагони) разом усіма виступаючими частинами з урахуванням його розгойдування і нахилу при поломці ресори. Габарит обладнання визначається контуром, що з'єднує найбільш виступаючі точки різного обладнання (кабелів, світлофорів, релейних шаф, освітлювальних ліхтарів). Габарит будови визначається контуром, що з'єднує найбільш сильно виступаючі всередину точки облицювання тунелю. Простір між габаритом рухомого складу і габаритом обладнання називають **габаритним запасом** і встановлюють при проектуванні тунелю. Габаритний запас, виражений в мм, служить вихідною величиною для розрахунку точності виконання геодезичних робіт при будівництві тунелів.

Для скорочення термінів будівництва тунелі глибокого закладення, особливо великої протяжності, споруджують

зустрічними забоями. Місце зустрічі – місце збіжки. Необхідно, щоб осі зустрічних трас співпадали. Нестикування тунелів – це неспівпадання центрів (осей) зустрічних тунелів. Для тунелів метрополітену та інших шляхів сполучення граничне значення розходження осей зустрічних забоїв згідно ДБН В.2.3-7-2010 становить

$$\delta = 100 \text{ мм} . \quad (12.1)$$

Виділяють три складові нестикування: поперечне, поздовжнє і висотне нестикування.

$$\sigma^2 = \sigma_{\text{поп}}^2 + \sigma_{\text{позд}}^2 + \sigma_h^2 . \quad (12.2)$$

Для прямолінійних тунелів $\sigma_{\text{позд}}$ має менш істотне значення, ніж $\sigma_{\text{поп}}$, а для криволінійних тунелів вони мають однаковий вплив.

Склад геодезичних робіт при будівництві тунелів

Ці роботи ведуться як на поверхні землі, так і під землею в гірських виробках. З цієї причини їх часто називають геодезично-маркшейдерськими роботами.

Склад робіт такий:

1. Побудова планового і висотного геодезичного обґрунтування на поверхні.
2. Оновлення і складання топографічних і спеціальних планів на вузьку смугу вздовж траси запроєктованого тунелю.
3. Аналітичні розрахунки при проектуванні тунелю і геодезична підготовка проекту для винесення його в натуру.
4. Побудова підземного планового і висотного геодезичного обґрунтування.
5. Передача координат, дирекційного кута і відміток з поверхні в підземні виробки.
6. Розмічувальні роботи по винесенню в натуру осей і конструктивних елементів тунелю і його споруд на поверхні і в підземних виробках.
7. Геодезичне забезпечення при веденні тунельних щитів.
8. Спостереження за осіданнями і деформаціями тунелів, наземних будівель і споруд.
9. Складання виконавчих креслень тунельних споруд.
10. Геодезичні роботи з укладання рейкових шляхів в тунелі.

На різних стадіях проектування використовують топографічні карти різних масштабів. На стадії техніко-економічного обґрунтування будівництва досить мати плани в масштабах 1: 50000-1: 10000, для детального проектування на стадії розробки проекту 1: 5000, 1: 2000, на стадії розробки робочого проекту – 1: 500, 1 : 200 і 1: 100.

12.2. Геодезична мережа тунелю

Геодезичну мережу тунелю розділяють на наземну та підземну частини. Якщо умови дозволяють розташувати і надійно закріпити пункти головної планової основи безпосередньо біля стовбурів, свердловин і порталів, через які буде здійснена передача координат і дирекційного кута в підземні виробки, то обмежуються створенням тільки цієї однієї стадії геодезичної мережі – найточнішої. В іншому випадку пункти розташовують на певній віддалі від траси, уникаючи зони можливих деформацій під впливом гірських розробок.

ДБН В.2.3-7-2018 [14] визначає такі методи створення наземної частини геодезичної мережі: тунельна тріангуляція, тунельна полігонометрія, тунельна трилатерація або комбінація цих методів. Така тунельна мережа поділяється на 4 розряди, в залежності від довжини тунелю, який потрібно побудувати. В сучасній практиці проведення інженерно-геодезичних робіт метод тріангуляції не використовується, це абсолютно застаріле положення. Автор цього посібника рекомендує лише два методи створення наземної мережі – лінійно-кутові побудови, або мережі ГНСС. Останні – дуже ефективні у випадку, коли потрібно мати в одній системі координат кілька точок в різних місцях траси. Основні вимоги до параметрів тунельної полігонометрії згідно ДБН В.2.3-7-2018 приведені в додатку 3.

Безпосередньо вздовж траси тунелю прокладають основну полігонометрію, якою згущують тунельну розмічувальну мережу. Тому, наземна планова геодезична основа для довгих тунелів в умовах забудованої міської території, як правило має кілька ступенів. Для тунелів довжиною менших 1 км основна полігонометрія використовується як єдина самостійна геодезична основа. Вимоги до основної полігонометрії приведені в ДБН В.2.3-7-2018:

- довжина сторін 100-300 м;
- відносна нев'язка ходу 1:35000 для тунелів завдовжки понад 0,5 км, і 1:200 000 для коротших тунелів;

- середня квадратична похибка вимірювання кута 3" [14].

Замість основної полігонометрії можливе використання лінійно-кутових мереж у вигляді трикутників чи чотирикутників та вставок окремих пунктів, визначених методом вільної станції.

Цей же нормативний документ ДБН В.2.3-7-2018 передбачає ще застосування третього ступеня наземної мережі, а саме – підхідної полігонометрії зі сторонами ходів від 30 до 70 м і довжиною ходів не більше 300 м, якою будуть передаватися координати безпосередньо до свердловин чи порталів [14]. Але більш ефективним замість цього ступеню буде використання методу вільної станції з електронним тахеометром.

Орієнтування підземної геодезичної основи зв'язує наземну і підземну мережі в єдину систему координат. При будівництві через портали – етап орієнтування відпадає.

Висотну основу на поверхні створюють методами нівелювання I і II класів. Висоти до стволів чи порталів передають нівелюванням III і IV класів. Граничні нев'язки нівелірних ходів не повинні перевищувати значень, приведених в Інструкції з нівелювання, а саме $\delta_{h_{zp}} = 10\sqrt{L}$ для ходів III класу, та $\delta_{h_{zp}} = 20\sqrt{L}$ або $\delta_{h_{zp}} = 5\sqrt{n}$ для ходів IV класу (тут n – кількість станцій L – довжина ходу в кілометрах)

Передачу відміток, так само як і орієнтування, здійснюють через портали або вертикальні шахти.

Створюване при будівництві тунелів наземне і підземне геодезичне обґрунтування є вихідною розмічувальною мережею для виконання всіх розмічувальних робіт і забезпечує із заданою точністю збіг осей і стикування конструктивних елементів опорядження зустрічних тунелів. Воно також служить основою для зйомок готових споруд та їх частин, для спостережень за осіданнями і деформаціями.

12.2.1. Особливості побудови геодезичної мережі на поверхні землі

Рекомендують включати пункти міської мережі до тунельної мережі. При використанні пунктів міської мережі необхідно проаналізувати поправки за редукування довжин сторін на площину в проекції Гауса-Крюгера і на поверхню віднесення. Сумарна величина цих поправок, що залежать від вибору осевого меридіана

і висоти поверхні віднесення, повинна бути настільки малою, щоб обходитися без введення редуційних поправок в мережах згущення (наземної та підземної полігонометрії) і при вимірах при розмічувальних роботах.

Якщо неможливо використати пункти міської мережі, то створюють вільну опорну мережу, застосовуючи умовну систему координат в проекції Гауса з довільно вибраним осьовим меридіаном і поверхнею віднесення. Опорну мережу доцільно проектувати на поверхню із середньою висотою поверхні Землі вздовж траси тунелю.

Найбільш ефективний спосіб – спосіб ГНСС–вимірювань.

12.2.2. Підземна геодезична мережа тунелю

Для підземної частини геодезичної мережі рекомендують лише лінійно-кутові побудови. Підземна планова геодезична основа створюється одноступінчастою у вигляді **висячих полігонометричних ходів**. На різних стадіях проходки тунелів ходи відрізняються довжинами.

Координати передають через підхідні полігонометричні ходи, які прокладають через підхідні штольні. Через обмеженість простору довжини цих ходів можуть бути меншими 10 м. В основному тунелі прокладають три види підземних полігонометричних ходів: робочі зі сторонами 25-50 м, основні зі сторонами 50-100 м, головні, які прокладають по пунктах основних, вимірюючи лише діагональні пункти (через один). Таким чином утворюється мережа полігонометричних ходів у вигляді трикутників (рис. 12.5). Пункти ходів закріплюють в днищі лотка бетонними монолітами з металевим стрижнями із заглибленням всередині, в які впресовують мідь, бронзу чи латунь, або в бетонній оболонці штирями чи відрізками рейки довжиною 10-20 см. Для метрополітену пункти полігонометрії розміщують з протилежної сторони від контактної рейки. Гранична кутова нев'язка в трикутниках 6". Відносна лінійна нев'язка не повинна перевищувати 1:25000. Рекомендований прилад – точний електронний тахеометр.

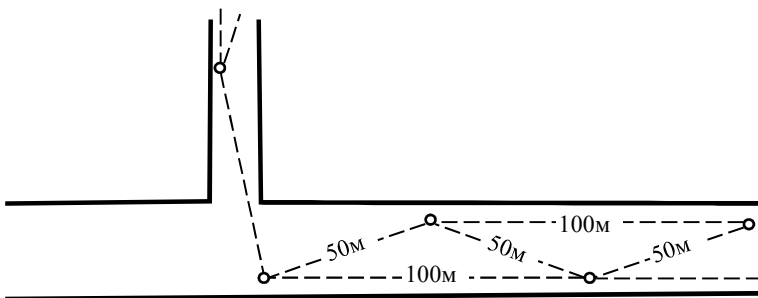


Рис. 12.5. Підземна полігонометрія

12.3. Розрахунок точності геодезичного забезпечення

На розмір нестикування тунелю впливають такі основні похибки:

- похибка планової опорної мережі δ_1 ;
- похибка висотної мережі δ_2 ;
- відхилення тубінгових кілець при їх укладанні від осі тунелю (ексцентриситет) δ_3 ;
- відхилення геометричної форми кілець від проектної (еліптичність) δ_4 ;
- деформація кілець δ_5 ;

Загальну похибку стикування зустрічних тунелів запишемо як

$$\delta^2 = \delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2. \quad (12.3)$$

Для розрахунків приймемо, що $\delta_3 = \delta_4 = \delta_5 = 50 \text{ мм}$, $\delta_2 = 100 \text{ мм}$,

а $\delta_2 = 0,5\delta_1$. Тоді матимемо $\delta_1 = 45 \text{ мм}$, $\delta_2 = 22,5 \text{ мм}$.

Проаналізуємо точність планових робіт. На значення похибки неспівпадання в плані осей зустрічних тунелів впливають такі основні похибки:

- геодезичного обґрунтування на поверхні m_1 ;
- орієнтування підземної основи через шахту А m_2 ;
- орієнтування підземної основи через шахту Б m_3 ;
- ходу підземної полігонометрії, що прокладається від стовбура А до місця збіжки m_4 ;
- ходу підземної полігонометрії, що прокладається від стовбура Б до місця збіжки m_5 .

$$\delta_1^2 = m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 + m_5^2. \quad (12.4)$$

З практичного досвіду для тунелів довжиною до 1,5 км можна застосувати принцип рівних впливів, тобто $m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m_5 = m_0$

$$\delta_1^2 = 5m_0^2. \quad (12.5)$$

Прийнявши $\delta_1 = 45\text{мм}$, отримаємо похибку окремого джерела $m_0 = 20\text{мм}$.

При спорудженні тунелю через портали помилки орієнтування відсутні, тому у формулі (12.4) будуть відсутні складові m_2 і m_3 , а похибка окремого джерела $m_0 = \delta_1 / \sqrt{3} = 26\text{мм}$.

Отримані результати справедливі для прямолінійних тунелів. Тобто, вся похибка m_0 буде віднесена до поперечної складової. Для криволінійних тунелів необхідно врахувати ще поздовжню складову, тобто

$$m_0 = \sqrt{m_{0\text{non}}^2 + m_{0\text{позд}}^2}. \quad (12.6)$$

За принципом рівного впливу маємо

$$m_{0\text{non}} = m_{0\text{позд}} = m_0 / \sqrt{2}. \quad (12.7)$$

Для криволінійних ділянок через вертикальні стовбури $m_{0\text{non}} = m_{0\text{позд}} = 14\text{мм}$, а при будівництві через портали $m_{0\text{non}} = m_{0\text{позд}} = 18\text{мм}$.

Для тунелів довших 1,5 км принцип рівного впливу стає неприйнятним і необхідно вводити вагові коефіцієнти.

Вплив помилки орієнтування першої сторони витягнутого ходу підземної полігонометрії на поперечний зсув кінця ходу можна записати формулою

$$m_2 = \frac{m_{op}}{\rho} l_1, \quad (12.8)$$

де l_1 – довжина полігонометричного ходу, m_{op} – середня квадратична похибка орієнтування. Визначимо m_{op}

$$m_{op} = \frac{m_2}{l_1} \rho. \quad (12.9)$$

Для ходу довжиною 0,5 км отримаємо $m_{op} = 8.3''$.

Визначимо точність вимірювання кутів в підземному полігонометричному ході, який є висячим, а поперечний зсув його кінцевої точки обчислюється за формулою

$$m_u = \frac{m_\beta}{\rho} l_1 \sqrt{\frac{n+1.5}{3}}. \quad (12.10)$$

Для прямолінійного тунелю цей поперечний зсув не повинен перевищувати $m_0 = 20 \text{ мм}$. Визначимо середню квадратичну похибку вимірювання горизонтальних кутів

$$m_\beta = \frac{m_u}{l_1 \sqrt{\frac{n+1.5}{3}}} \rho. \quad (12.11)$$

Для ходу довжиною 0,5 км кути потрібно вимірювати з точністю не грубіше $5,6''$.

Розглянемо складові висотної похибки:

- похибка нівелірного ходу на поверхні, що зв'язує два репери, розташовані поблизу суміжних стовбурів m_{h_1} ;
- похибка передачі позначки з поверхні під землю через стовбур А m_{h_2} ;
- похибка передачі позначки через стовбур Б m_{h_3} ;
- похибка підземного нівелірного ходу до місця збійки від стовбура А m_{h_4} ;
- похибка підземного нівелірного ходу від стовбура Б m_{h_5} ;

$$m_h^2 = m_{h_1}^2 + m_{h_2}^2 + m_{h_3}^2 + m_{h_4}^2 + m_{h_5}^2 \quad (12.12)$$

Прийmemo:

$$\left. \begin{aligned} m_{h_2} &= m_{h_3} = 5 \text{ мм} \\ m_{h_1} &= \eta \sqrt{l} \\ m_{h_4} &= m_{h_5} = \eta \sqrt{l/2} \end{aligned} \right\}, \quad (12.13)$$

де η – випадкова похибка на 1 км ходу, l – довжина ходу в км між стовбурами. Тут прийнято, що підземні ходи мають однакову довжину $l/2$. З врахуванням (12.13) формула (12.12) запишеться

$$m_h^2 = 2\eta^2 l + 50, \quad (12.14)$$

звідки

$$\eta = \sqrt{(m_h^2 - 50)/(2l)} \quad (12.15)$$

При $m_h = 22,5 \text{ мм}$, $l = 1 \text{ км}$, $\eta = 15 \text{ мм}$, що свідчить про те, що збірка тунелів по висоті може бути виконана нівелюванням IV класу.

12.4. Орієнтування підземної геодезичної мережі

В літературі [1] широко висвітлені способи, які використовувалися раніше для орієнтування підземної геодезичної мережі:

- спосіб створу двох висків (похибка $30''$),
- спосіб з'єднувального трикутника (похибка $10''$),
- спосіб двох шахт (похибка $8-10''$).

З ними можна детальніше познайомитися в [1]. Сучасний і ефективний спосіб орієнтування – гіротеодолітом, який забезпечує похибку $5-10''$. Для забезпечення такої точності необхідно якісно визначити постійну поправку гіротеодоліта

$$\Delta = \alpha_{вих} - \alpha_{зп} + \gamma_{вих} - \delta, \quad (12.16)$$

де $\alpha_{вих}$ – дирекційний кут вихідного напрямку, визначений за координатами, $\alpha_{зп}$ – значення того ж кута визначене за допомогою

гіротеодоліта, $\gamma_{вих} = \lambda \sin \varphi$ – зближення меридіанів, λ та φ відповідно довгота та широта точки стояння, δ – поправка за схилення лінії виска. Останню обчислюють за формулою

$$\delta = (\eta \cos \alpha - \zeta \sin \alpha) / \operatorname{tg} z, \quad (12.17)$$

де η, ζ – складові схилення виска в площині меридіану і першого вертикалу відповідно, z – зенітна віддаль.

Безумовним лідером серед сучасних гіротеодолітів є GYROMAT 5000 фірми DMT (рис. 12.6) з повністю автоматичним гіроскопом, який дозволяє визначити дирекційний кут з точністю 2.6" за 6-9 хвилин. Він не потребує попереднього грубого визначення азимута. Його попередник GYROMAT 2000 приймав безпосередню участь в будівництві тунелю під Ла-Маншем.



Рис. 12.6. Гіртеодоліт GYROMAT 5000

Більш простим сучасним рішенням є гіроскопічна насадка Gyromax AK-2M (рис. 12.7) сумісна з електронними тахеометрами фірми Leica. Ця насадка визначає дирекційний кут з точністю 20" протягом 15 хвилин. Основною частиною гіронасадки є маятниковий гіроскоп.

12.5. Передача висот під землю

Вихідними реперами при передачі висот під землю є нівелірні реperi 3 класу. Щоб уникнути похибок за осідання земної поверхні біля стовбура, необхідно перевизначити висоту репера безпосередньо перед передачею під землю. Класичний і найбільш наглядний спосіб – спосіб геометричного нівелювання (рис. 12.8).



Рис. 12.7. Гіроскопічна насадка AK-2M

При цьому використовують сталеву прокомпаровану рулетку, яку опускають нулем вниз. Слід врахувати температурну поправку рулетки та поправку за її подовження. Висоту репера під землею $H_{нідз}$ вираховують за формулою

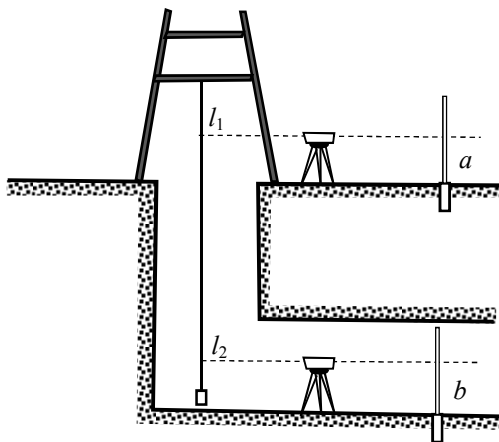


Рис. 12.8. Передача висот під землю геометричним нівелюванням

$$H_{нідз} = H_{нов} + a - (l_1 - l_2 + \Delta_t + \Delta_k + \Delta_l) - b, \quad (12.18)$$

де $H_{нов}$ – висота репера на поверхні, l_1, l_2 – відліки по рулетці, a, b – відліки по рейках на поверхні та під землею відповідно, $\Delta_t = \mu(l_1 - l_2)(t - t_{ком})$ – поправка до відліків з рулетки за зміну температури, μ – температурний коефіцієнт розширення сталі, $t, t_{ком}$ – температура відповідно під час вимірювань та при компаруванні, Δ_k – поправка за компарування, Δ_l – поправка за подовження рулетки. Останню поправку вираховують за формулою

$$\Delta_l = \frac{P}{2} \frac{l}{EF}, \quad (12.19)$$

де P – власна вага рулетки, l – її довжина, E – модуль пружності, F – поперечне січення рулетки.

Якщо шахта, чи стовбур мають значну ширину, то можна застосувати спосіб тригонометричного нівелювання з електронним тахеометром, якщо ж ширина не дозволяє візувати вниз, то геометричне нівелювання залишається єдиним способом передачі висот під землю.

12.6. Розмічення осі тунелю. Детальні розмічення. Спостереження за деформаціями

Осі та контури тунелю розмічують від пунктів підземного полігонометричного ходу, який прокладають зразу за забоєм (за тунелепрохідною машиною).

Розмічення осі основного тунелю виконують електронним тахеометром спеціальною функцією – розмічування. Вихідними даними слугують проектні значення просторових координат точок осі. Ефективно буде застосувати метод вільної станції. Всі розмічувальні роботи слід виконувати не менше двох разів, як правило, різними виконавцями і з різних місць установки електронного тахеометра.

Необхідно проводити щомісячні контрольні виміри об'ємів основних гірничих робіт: довжина проходки породи, довжина зібраних кілець тунельної оправки, довжина розчekanки швів.

Геодезисти зобов'язані контролювати положення кілець, якими формується тунель. Необхідно контролювати просторове положення кожного кільця під час монтажу, а також після монтажу для визначення еліптичності кільця – відхилення від проектної форми. За реальними просторовими координатами кільця визначають реальне положення осі та її відхилення від проекту. Через 8-10 кілець визначають відхилення передньої площини останнього кільця від перпендикуляру до осі тунелю. Це відхилення іноді називають випередженням і описують різницею віддалі від перпендикуляру до країв кільця в різних місцях.

Під час роботи тунелепрохідної машини необхідно постійно контролювати положення ножової та хвостової частини цієї машини та відхилення від проекту. Необхідно витримувати дві вимоги: перша – центр тунелепрохідної машини повинен знаходитися на проектній осі тунелю, друга – поздовжня вертикальна площина симетрії, що включає центр машини, мусить проходити через нуль-пункт відлікового пристрою, за яким направляється машина. Пряма видимість від хвостової до ножової частини тунелепрохідної машини відсутня, що ускладнює геодезичний контроль. Можливий контроль роботи цієї машини за марками, закріпленими зверху опорного кільця. Рекомендують застосовувати лазерні прилади, які підвішують на стелі тунелю, а в якості марок – фотоприймачі. Є спроби застосувати навігаційне

обладнання, аналогічне як на борту літака при аерофотозніманні, яке дозволяє визначити три малі кути відхилення від проектного напрямку – крен, курс, тангаж.

Геодезичні спостереження за деформаціями проводять способом нівелювання склепіння кожного п'ятого кільця збірної оправи та вимірювання горизонтальних і косих (під кутом 45°) діаметрів кожного п'ятого кільця. У випадку монолітної оправи такі спостереження проводять через кожні 5 м. Періодичність спостережень – 1 раз у квартал у перший рік будівництва, 2 рази в рік у наступні роки до здачі об'єкта в експлуатацію. При інтенсивному збільшенні деформацій вимірювання проводять 1 раз на 20 днів. Крім того, необхідно проводити спостереження за деформаціями наземних та підземних споруд, розташованих в зоні будівництва тунелю. Найефективнішим для цих цілей є **наземне лазерне сканування**. Єдиною додатковою вимогою до лазерного сканера є безпечність його роботи в підземних приміщеннях.

12.7. Геодезичні роботи при будівництві станцій метро

Станції метрополітену споруджують на прямих ділянках колії відкритим або закритим способом. Встановлення залізобетонних кілець на станції виконують з такими граничними похибками: в поздовжньому напрямку – не більше 10 мм, кручення – не більше 15 мм. Через 8-10 кілець визначають пікетаж, горизонтальне та вертикальне випередження та кручення. Для контролю кручення періодично нівелюють шов між тубінгами, який відповідає верху майбутнього проїзду.

Глибокі станції з'єднують з наземними входами за допомогою похилих ескалаторних тунелів. В них облаштовують фундаменти під ескалатори з похибками не більшими 20 мм в плані, та – 20 мм вздовж профілю. Поздовжні швелери під ферми ескалаторів встановлюють з похибкою не більшою 5 мм в плані та по висоті.

Висоти на дно котлованів слід передавати декілька разів під час будівництва для уникнення похибок за деформацію дна котловану.

Після формування опорних кілець станцій метро необхідний ще монтаж багатьох будівельних конструкцій та технологічного обладнання, який потребує геодезичного контролю.

Бортовий камінь (бордюр) вздовж платформи встановлюють

від осі залізничної колії з граничними похибками $0 - +10$ мм, а по висоті від рівня головки рейки з похибкою 5 мм.

Після закінчення будівництва станції метро проводять виконавче знімання, за результатами якого складають поздовжні розрізи і плани в масштабі 1:100 – 1:200, а поперечні розрізи – 1:100 – 1:50.

До крупних підземних споруд відносять: комплекси для пересадки пасажирів з однієї лінії метро на іншу, підземні підприємства енергетичного і промислового призначення. Ці комплекси включають, як правило, кілька станцій (основних залів), з'єднаних горизонтальними чи похилими тунелями. Для таких споруд відхилення від проектної ширини виробітки повинно бути в межах від +50 до – 30 мм, еліптичність кілець не більше 50 мм, зміщення фундаментів – не більше 15 мм, стін і колон – 8 мм. Для розрахунків необхідно враховувати поперечну, поздовжню, а також висотну складові похибки нестикування у формулі (12.2).

Для виконавчого знімання рекомендують використовувати електронні тахеометри, фотограмметричний спосіб та наземне лазерне сканування.

12.8. Прецизійні споруди

Всі прецизійні споруди складаються з двох взаємозв'язаних частин: інженерно-будівельних конструкцій та комплексу прецизійного технологічного обладнання. До таких споруд відносять: лінійні та кільцеві прискорювачі заряджених частинок, крупні радіотелескопи, спеціальні радіотехнічні та лазерні пристрої, промислові конвеєри.

Прискорювачі заряджених частинок побудовані з секцій електромагнітів, які дозволяють розігнати елементарні частинки до проектних швидкостей. Ці магніти встановлюють на фундаменти, вони мають спеціальні механізми, що дозволяють юстувати своє положення в трьох напрямках. Між полюсами магнітів монтується вакуумна камера, по якій відбувається рух частинок. Енергія частинок прямо пропорційна радіусові прискорювача. Прискорювач складається із лінійного прискорювача, кільцевого електромагніта та експериментального залу. Допустимі похибки положення обладнання прискорювачів мають такі значення: відхилення радіуса – 0,1 мм, відхилення по висоті – 0,1 мм, відхилення азимута 0,5 –

3 мм.

Радіоантенні системи – радіотелескопи вимагають високої точності монтажу збірних елементів. Відхилення реальної форми рефлектора від проектної веде до розсіювання хвиль, через що зменшується коефіцієнт використання ефективної площі радіотелескопа. Втрати V ефективної площі можна визначити такою залежністю

$$V = k \left(\frac{m}{\lambda} \right)^2, \quad (12.20)$$

де m – випадкова похибка монтажу, λ – довжина хвилі, що приймається телескопом, k – коефіцієнт залежності.

Точність поверхні радіотелескопа залежить від:

- похибок виготовлення збірних елементів;
- похибок монтажних робіт;
- похибок деформації, обумовлених власною вагою, вітровим навантаженням та нерівномірним нагрівом.

В сучасних радіотелескопів відношення похибки до діаметру становить $1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-5}$.

Для збільшення корисної площі радіотелескопа стали споруджувати антени так званого змінного профілю. В такій антені відбивна поверхня розбивається на велику кількість окремих відбивних елементів, які механічно не зв'язані між собою. Їх монтують так, що вони відтворюють потрібну форму відбивної поверхні. Точність відтворення проектної поверхні залежить від точності взаємного положення окремих елементів.

12.9. Вивчення мікрорухів гірських порід при виборі місць будівництва прецизійних споруд

Мікрорухи гірських порід можуть стати причиною порушення нормальної роботи прецизійних споруд. За походженням енергії всі процеси, що призводять до рухів поверхні, ділять на внутрішні та зовнішні. Більш небезпечні – зовнішні процеси.

Ці зміщення можна розділити на групи:

- викликані природними факторами;
- викликані інженерною діяльністю людини.

Природні мікрорухи поділяють на:

- **гідротермічні**, які відбуваються через вивітрювання, замерзання, відтаювання, зміну рівня та швидкості течії підземних вод, зміну температури і вологості гірських порід;
- пов'язані з коливаннями атмосферного тиску, з віддаленими землетрусами;
- обумовлені місячно-сонячними приливами;
- обумовлені океанічними приливами та зміною рівня води, спричиненою вітром;

Зовнішні (екзогенні) процеси приводять до зміщень двох груп:

- зворотніх з річним циклом (замерзання, відтаювання, зміна вологості);
- незворотніх (просідання карстів, суфозія, зсуви)

Причини техногенних зміщень, викликаних діяльністю людини:

- підземні виробки;
- відкачування підземних корисних копалин (нафти і газу);
- вибухові роботи, рух поїздів;
- підготовка великих котлованів;
- штучна зміна гідротермічного режиму гірських порід.

Техногенні мікрорухи дуже легко визначаються на фоні природних рухів.

Мікрорухи характеризуються малими значеннями просторових зміщень та різними швидкостями, тому їх фіксація потребує спеціальних геодезичних методів та приладів.

За впливом всі мікрорухи ділять на дві групи: загальна деформація та локальна деформація. Перша викликає зміщення всієї основи, друга – локальне короблення основи, перша – нешкідлива, друга – небезпечна. Якщо через деформовану поверхню провести умовну площину, яка буде відповідати загальній деформації, то відхилення реального положення точки від площини загальної деформації (відстань від точки до площини) буде відповідати локальній деформації в цих точках. Площину, що відповідає загальній деформації, підбирають за методом найменших квадратів.

Опорні репери для спостереження мікрорухів гірських порід необхідно закласти нижче межі коливання температури та вологості. Крім традиційних методів вимірювань – геометричне нівелювання, куткових та створних вимірювань, рекомендують

статичні ГНСС–спостереження. Ці геодезичні методи доповнюються геофізичними ухиломірними вимірюваннями. Спостереження розпочинають після вибору району робіт, але ще до розробки проекту будівництва. Геодезичні вимірювання доповнюють спостереженнями за рівнем підземних вод та температурою гірських порід.

Мережа деформаційних пунктів повинна повністю покривати територію будівництва. Бажано щоб пункти розміщувалися безпосередньо біля місць майбутнього монтажу технологічного обладнання. Це дозволить виявляти мікрорухи, що можуть негативно впливати на роботу технологічного обладнання. В залежності від типу зміщення, яке повинен фіксувати пункт для його закріплення застосовують планові, висотні (репери) чи планово-висотні знаки. Для планових знаків використовують обернені виски та консольні конструкції, для висотних – струнні та біметалічні репери, для планово-висотних – знаки з інварним стержнем та консолі. Застосовують більш складні конструкції – так звані групові репери, що складаються з одного основного (зкладають в корінну породу) та кількох робочих (зкладають в досліджувану породу) біметалічних реперів. Використовують також багатострунний репер. Більш детально з будовою цих знаків можна ознайомитися в [1]. Автор [1] стверджує, що такі репери дозволяють визначати зміщення з похибкою 0,03-0,05 мм.

Для спостереження за вертикальними мікрорухами застосовують геометричне, гідростатичне, мікронівелювання та ГНСС–нівелювання. Для горизонтальних зміщень – лінійні, створні вимірювання та ГНСС–спостереження. Для мінімізації похибок різних джерел в кожному циклі роботи потрібно проводити одним і тим приладом, за однакових зовнішніх умов за однією схемою вимірювань.

В останні роки широкого розвитку набув метод наземної та космічної *радарної інтерферометрії*. Робота таких систем базується на принципі роботи радіовіддалеміра. Якщо виміряти різницю фаз двох радіосигналів, що випущені від нерухомого джерела через певний часовий інтервал (3 місяці, 6 місяців) і які відбилися від однієї і тієї ж точки, то можна визначити зміщення точки за цей період [20].

12.10. Особливості геодезичних робіт для будівництва прецизійних споруд

Серед особливостей виконання геодезичних робіт для будівництва прецизійних споруд варто виділити такі:

- найвищі вимоги до точності;
- опорні геодезичні мережі є мікромережами;
- перевага надається лінійним вимірюванням;
- застосовують статичні ГНСС–спостереження для мереж на поверхні Землі;
- опорні мережі за формою мають повторювати форму споруди;
- в якості опорної мережі часто використовують центральні фігури та їх модифікації;
- опорна мережа є одноступеневою;
- опорні геодезичні мережі бажано суміщати з розмічувальними мережами;
- обов'язкові спостереження за деформаціями гірських порід та фундаментів.

Геодезичні роботи для будівництва прецизійних споруд вимагають високоточних геодезичних приладів. Для лінійних вимірів найвищу точність забезпечують інтерферометричні віддалеміри – 0,1-0,2 мм, але вони можуть вимірювати не повне значення віддалі, а лише зміну віддалі. Для виявлення мікрорухів гірських порід такі прилади є ефективними. Сучасні електронні тахеометри для інженерних робіт типу Monpos вимірюють віддаль з точністю 0,3-0,5 мм. Сучасні високоточні цифрові нівеліри гарантують похибку 0,2-0,3 мм на 1 км подвійного ходу, але якість їх роботи дуже залежить від освітлення рейки. Для підвищення точності нівелювання необхідно дотримуватись добре відомих рекомендацій: короткі плечі, рівність плеч, перевірка роботи компенсатора. Для створених вимірів ефективними будуть лазерні створофіксатори з малим кутом розходження променя.

Запитання для самоконтролю до розділу 12

1. Охарактеризуйте основні способи спорудження підземних тунелів.
2. Що таке портал тунелю?
3. Що таке рампа?
4. Опишіть тунелепрохідну машину.
5. Які габарити тунелю розрізняють? Чим вони обмежуються?
6. Яка гранична величина незбігу осей зустрічних тунелів?
7. Чому геодезичні роботи при спорудженні тунелю називають «геодезично-маркшейдерськими»?
8. Опишіть склад геодезично-маркшейдерських робіт при будівництві тунелю.
9. На які дві частини розділяють геодезичну мережу тунелю?
10. Для чого виконують орієнтування підземної частини планової геодезичної мережі?
11. Які методи створення наземної частини геодезичної мережі тунелю визначає ДБН В.2.3-7-2010?
12. На які розряди поділяється тунельна геодезична мережа?
13. Охарактеризуйте основну полігонометрію тунелю.
14. Якого класу нівелювання використовують в якості наземної нівелірної мережі тунелів?
15. Опишіть основні особливості побудови наземної геодезичної мережі тунелю.
16. Якими методами створюють підземну геодезичну мережу тунелю?
17. Перерахуйте похибки, що впливають на розмір незбігу осей зустрічних тунелів.
18. Від яких похибок залежить розмір незбігу осей зустрічних тунелів в плані?
19. Від яких похибок залежить розмір незбігу осей зустрічних тунелів по висоті?
20. Опишіть основні способи орієнтування підземної частини геодезичної мережі.
- 21.3 якою точністю дозволяють визначати дирекційні кути сучасні гіроскопічні прилади?
22. Як здійснюють передачу висот під землю?
23. Як розмічують вісь тунелю?
24. Як здійснюється геодезичний контроль роботи тунелепрохідної машини?

25. Опишіть геодезичні спостереження за деформаціями тунелю.

26. В якому масштабі складають поздовжні розрізи і виконавчі плани станції метро?

27. Яке відношення похибки до діаметру в сучасних радіотелескопів?

28. Від чого залежить точність формування поверхні радіотелескопа?

29. Опишіть конструкції планово-висотних знаків для вивчення мікрорухів гірських порід.

30. З якою похибкою можна визначати мікрорухи гірських порід?

31. Якими методами досліджують мікрорухи гірських порід?

32. Опишіть особливості геодезичних робіт для будівництва прецизійних споруд.

33. Які геодезичні прилади використовують для будівництва прецизійних споруд?

Розділ 13. Геодезичні роботи для підкранових колій

13.1. Геодезичні роботи при монтажі підкранових колій

В залежності від типу крану, підкранові колії можуть встановлюватися на землі або ж зверху на консолях колон. Геодезичне забезпечення для колій, котрі вкладають на землі, включає ті роботи, які у випадку монтажу колій на колонах проводяться на заключному етапі. Тому як більш загальний випадок розглянемо тут монтаж підкранових колій на консолях колон.

До геодезичних робіт при монтажі підкранових колій включають: нівелювання консолей колон, перенесення осей підкранових балок на консолі, контроль горизонтальності й прямолінійності підкранових балок, контроль горизонтальності, прямолінійності і паралельності підкранових колій [1].

Якщо перед монтажем на колонах були нанесені висотні risks та була проміряна віддаль від цієї риски до верхньої площини консолі, то при нівелюванні вже встановлених колон достатньо визначити висоту риск. Якщо ж таких даних немає, то замість рейки використовують металеву стрічку, яку підвішують на консоль. Коли є можливість встановити безвідбивний електронний тахеометр вище консолей, то можна застосувати тригонометричне нівелювання.

Найпростіший спосіб перенесення осей підкранових балок на консолі – похиле проектування. Перед тим необхідно винести risks осі на крайніх консолях та винести точку осі, в якій буде встановлено тахеометр чи теодоліт. Після розмічування осі паралельної балки на іншому ряду колон контролюють віддаль між risksами осей в кожному поперечному перерізі, що служить елементом виконавчого знімання.

Після монтажу підкранових балок виконують їх нівелювання, за результатами якого визначають уточнену проектну висоту підкранових колій та товщину підкладок під рейки на кожній консолі. Фактично нова проектна висота колій буде визначатися найнижчою позначкою підкранової балки. Якщо прийняти середнє значення з усіх висот, то на деяких консолях матимемо наперед передбачуване відхилення висоти рейки вверх від горизонталі. Якщо такі відхилення вверх на всіх колонах будуть в межах граничних, то таке рішення може бути прийнятним.

В [1] вказується, що елементи кріплення рейок розташовують на осі підкранової балки, чим і забезпечується монтаж самих рейок в проектне положення. В [7] пропонують контролювати монтаж рейок боковим нівелюванням, слідкуючи щоб на кожній колоні віддаль від візирної площини приладу до осі рейки була однаковою. В ході виконавчого знімання перевіряють горизонтальність, прямолінійність та паралельність підкранових рейок. Традиційно перевірку першої характеристики здійснюють геометричним нівелюванням, а другої та третьої – вимірюванням відхилень від створу. Одночасне визначення всіх трьох параметрів забезпечують автоматизовані системи, описані в наступному п. 13.2. Граничні значення основних параметрів підкранових колій, які контролюються в ході монтажу, приведені в табл. 13.1 [1].

Таблиця 13.1

Граничні значення параметрів підкранових колій

Параметр	Значення
зміщення осі рейки від осі підкранової балки, мм	± 15
відхилення осі рейки від прямолінійності, мм	± 15 на 40м
відхилення величини прогону в плані, мм	± 10
різниця позначок рейки на сусідніх колонах (на відстані L , мм	$L/1000$, не більше ± 15
різниця позначок головок рейок в одному поперечному перерізі, мм	± 15
взаємне зміщення торців суміжних підкранових рейок в план та по висоті, мм	± 2

13.2. Геодезичний контроль підкранових колій в ході експлуатації

Безпечне та ефективне функціонування підкранових колій потребує періодичної перевірки параметрів цих колій. Важливим моментом такого контролю є якомога вища швидкість його виконання, бо геодезичний контроль вимагає зупинки крану, а це додаткові економічні втрати. Попри високу оперативність виконання контролю основне завдання – це забезпечення необхідної точності виконання робіт.

Перелік параметрів, які необхідно контролювати, визначаються Правилами [23]:

- P1 – різниця позначок головок рейок в одному поперечному перерізі;
- P2 – різниця позначок рейок на сусідніх колонах (лише для мостових кранів);
- P3 – звуження або розширення рейкової колії (відхилення величини прогону у плані);
- P4 – взаємне зміщення торців рейок, що стикаються, у плані та за висотою;
- P5 – зазори у стиках рейок (при температурі 0 С і довжині рейки 12,5 м);
- P6 – відхилення рейки від горизонтальності (різниця висотних позначок головок рейок) на довжині 10 м рейкової колії;
- P7 – відхилення рейки від прямолінійності на ділянці 10 м.

13.2.1. Визначення геометричних параметрів підкранових колій електронним тахеометром

Сучасні електронні тахеометри суттєво змінили методику виконання геодезичного контролю підкранових колій [5; 6]. Застосування цих приладів дозволило значно скоротити польові роботи з перевірки параметрів, а отже – зменшити затрати на сам геодезичний контроль та зменшити економічні втрати замовника через скорочення терміну простою крану.

Якщо виконувати контроль колій електронним тахеометром, то параметри *«різниця позначок головок рейок в одному поперечному перерізі (P1)»* і *«відхилення рейки від горизонтальності (P6)»* визначаються як різниця висот відповідних точок, обчислених із тригонометричного нівелювання. У випадку, коли висоти цих точок виміряні із однієї станції, то точність таких параметрів не залежить від точності визначення висоти станції, висоти приладу на станції та висоти відбивача на точці. Тому середні квадратичні похибки визначення параметрів P1 та P6 відповідно m_{P1} та m_{P6} запишуться як

$$m_{P1}^2 = m_{P6}^2 = m_{h_1}^2 + m_{h_2}^2, \quad (13.1)$$

де m_{h_1} та m_{h_2} – середні квадратичні похибки визначення перевищення сусідніх точок рейки (чи точок рейок в одному поперечному перерізі для параметру P1) над станцією.

Так як ці точки розташовані близько одна до одної, то точність визначення перевищення на них із тригонометричного нівелювання є фактично однаковою, а тому

$$m_{P1} = m_{P3} = \sqrt{2(m_s^2 \cdot \sin^2 \nu + S^2 \cdot \cos^2 \nu \cdot \frac{m_v^2}{\rho^2})}, \quad (13.2)$$

де S – похила віддаль від тахеометра до точки рейки, ν – вертикальний кут на точку рейки, виміряний тахеометром, m_s , m_v – середні квадратичні похибки вимірювання похилої віддалі та вертикального кута електронним тахеометром; ρ – число секунд в 1 радіані.

Ширину колії (прогону) вираховують за формулою

$$D = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}, \quad (13.3)$$

де X_1 , X_2 , Y_1 , Y_2 – координати точок двох рейок в одному поперечному перерізі, які визначаються полярним способом. Якщо допустити, що точність визначення координат однакова, то можна записати для середньої квадратичної похибки прогону

$$m_D = \sqrt{m_s^2 + S^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}}, \quad (13.4)$$

де m_β – середня квадратична похибка вимірювання горизонтального кута електронним тахеометром.

Параметр РЗ – це звуження чи розширення рейкової колії. В [23] не уточнюють на якій ділянці його слід контролювати. Якщо його контролюють на всій робочій довжині колії, а звуження чи відхилення вираховують від номінального значення прогону, яке відомо точно, то

$$m_{P3} = m_D. \quad (13.5)$$

Для середньої квадратичної похибки відхилення рейки від прямолінійності m_{Δ_f} можна використати формулу з [5], за якою

$$m_{\Delta_f} = m_\kappa \cdot \sqrt{1,5}. \quad m_\kappa \text{ – середня квадратична похибка визначення}$$

планових координат. Так як планові координати визначають полярним способом, то

$$m_{\Delta f} = \sqrt{\frac{1.5}{2} (m_s^2 + S^2 \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2})}. \quad (13.6)$$

За формулами (13.2), (13.4) і (13.6) можна розрахувати очікувані значення середніх квадратичних похибок визначення параметрів підкранових колій для конкретного тахеометра та конкретних умов вимірювання. Для того, щоб вирішити, чи задовільною є розрахована точність потрібно порівняти отримані значення із граничними. Дуже часто [5; 18] в якості граничного значення використовують значення $m_{GP} = 0,2\Delta$, де Δ – допуск на відповідний геометричний параметр колії.

Тут пропоную такий підхід для обчислення m_{GP} . Середнє квадратичне відхилення параметру $\delta = \Delta/2$. А до точності геодезичних робіт δ_r для визначення параметру, яку розглядаємо як складову загального середнього квадратичного відхилення поставимо вимогу мізерного впливу

$$\delta_r = \frac{\Delta}{2\sqrt{10}}. \quad (13.7)$$

Формула (13.7) дає значення $\delta_r = 0.16\Delta$, яке на 20% підвищує вимоги у порівнянні з $m_{GP} = 0,2\Delta$.

Значно пришвидшує роботи застосування безвідбивного тахеометра. Проте для визначення параметрів Р1 та Р3 необхідно чітко ідентифікувати точки на сусідніх рейках в одному поперечному перерізі. Надійний спосіб – це замаркувати ці точки, наприклад, кругом білої фарби діаметром 3-5 мм. Це підвищить точність безвідбивних вимірювань, адже білий колір має найвищий коефіцієнт відбивання. Найкращий варіант безвідбивних спостережень, коли тахеометр встановлюється посередині збоку від колії на відстані зручній для спостережень (25–50 метрів) так, щоб із однієї станції відспостерігати всю колію. Тоді маркувати пікети потрібно із зовнішньої сторони ближньої рейки від тахеометра, а для дальньої – з внутрішньої.

Якщо з однієї станції неможливо відспостерігати всю колію, то потрібно створювати кілька станцій. Координати станцій можна обирати довільно. Наближено можна виконувати і орієнтування тахеометра на станціях, якщо визначають лише параметри підкранових колій без спостереження за осіданнями об'єктів. Зв'язок між станціями реалізують через спостереження 3 пар спільних пікетів із сусідніх станцій. Тоді відпадає необхідність використовувати програму тахеометра «*вільна станція*». Перед визначенням параметрів колії координати з різних станцій необхідно перерахувати у систему координат однієї (наприклад першої) станції. Таку можливість мають багато програмних продуктів, зокрема ПЗ «Digitals», що дозволяє перерахувати координати із однієї прямокутної системи ХУ в іншу X_1Y_1 , врахувавши можливі зміщення початку системи вздовж обох осей та розворот обох осей.

В [2] приведені результати експериментальних досліджень підкранового шляху баштового крана БКСМ-14МП2 з довжиною робочої ділянки 46 м та шириною колії – 6м. Вимірювання проводились електронним тахеометром Leica TCR 405 ultra. Результати досліджень свідчать про те, що безвідбивні технології можна з успіхом використовувати для визначення геометричних параметрів підкранових колій. При цьому фактично відпадає необхідність в послугах реєсника. Визначальним при виборі електронного тахеометра є допуск РЗ – звуження або розширення рейкової колії, значення якого є найменшим. На основі нього необхідно вираховувати максимальні віддалі, з яких можна вести спостереження.

13.2.2. Новітні методи визначення геометричних параметрів підкранових колій

Розробники геодезичного обладнання пропонують багато автоматизованих приладів та методів визначення геометричних параметрів підкранових колій.

Фінська фірма Koncranes, яка займається виробництвом та технічним обслуговуванням підйомних кранів, розробила ефективну та ефектну роботизовану систему RailQ [34] для контролю геометричних параметрів рейкових колій (рис. 13.1). До складу системи входять: електронний тахеометр, роботизований

візок з дистанційним управлінням, блок управління та спеціалізоване програмне забезпечення.



Рис. 13.1. Роботизована система RailQ

На візкові встановлено (рис. 13.2):

- кругову відбивальну призму для відбивання променя тахеометра;
- спеціальну відеокамеру для фіксації стану рейки;
- засоби зв'язку з блоком управління та тахеометром.

Візок встановлюють на рейку так, щоб призма знаходилася точно по середині рейки. Переміщення візка здійснюється за командою від віддаленого блоку управління. В доповнення до просторових координат центру призми, які визначаються електронним тахеометром, відеокамера візка фіксує зображення поточної частини рейки та передає його на блок управління за допомогою системи Bluetooth. Такі відеозображення дозволяють виявити механічні недоліки рейки, які не визначаються тахеометром: знос, недопустима ширина зазору стику рейок, корозія, механічне пошкодження і т.п.

За координатами центрів рейок програмним забезпеченням вираховуються параметри:

- відхилення рейок від прямолінійності;

- відхилення по висоті вздовж рейки;
- відхилення по висоті головок двох рейок в поперечному перерізі;
- відхилення номінального значення ширини між рейками.



Рис. 13.2. Роботизований візок системи RailQ

Для визначення двох останніх параметрів необхідно спостереження обох рейок тахеометром з однієї станції.

Спеціалізоване програмне забезпечення дозволяє побудувати тривимірну візуалізацію геометричних відхилень рейок (рис.13.3). Головні переваги роботизованої системи RailQ:

- висока точність результатів завдяки спеціальній конструкції візка та круговій призмі, що дозволяє точно ідентифікувати центр рейки;

- відеореєстрація рейок;

- оперативність контролю рейок, що зменшує простой крану;

Хороші відгуки отримали наземні лазерні сканери при використанні їх для моніторингу підкранових колій (див. п. 1.3) як окремі прилади, так і в складі комплексних систем для моніторингу залізниць. До складу таких систем входять (див п. 8.9.1):

- мірний візок з давачами для визначення поперечного ухилу та ширини колій;

- змінне обладнання: відбивач, тахеометр, ГНСС приймач,

наземний лазерний сканер;

- блок управління та обробки даних.

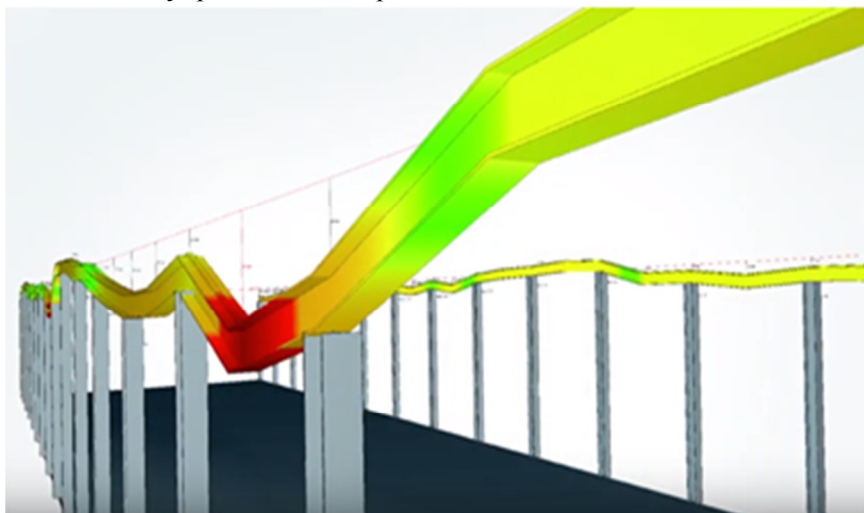


Рис. 13.3. Просторова візуалізація геометричних відхилень рейок

Запитання для самоконтролю до розділу 13

- 1. Які геодезичні роботи виконують при монтажі підкранових колій?*
- 2. Які параметри перевіряють під час виконавчого знімання підкранових колій?*
- 3. Які саме геометричні параметри підкранових колій необхідно контролювати в ході експлуатації?*
- 4. Чи залежить точність визначення параметрів $P1$ і $P6$ від точності визначення висоти станції, висоти приладу та висоти відбивача у випадку, коли висоти цих точок виміряні із однієї станції?*
- 5. Який геометричний параметр є визначальним при виборі електронного тахеометра (приладу відповідної точності)?*
- 6. В чому переваги безвідбивного тахеометра при контролі параметрів підкранових колій?*
- 7. Опишіть роботизовану систему RailQ.*
- 8. Перерахуйте пристрої встановлені на роботизованому візкові системи RailQ.*
- 9. Які сучасні геодезичні системи є ефективними для контролю параметрів підкранових колій?*

Розділ 14. Автоматизовані геодезичні системи управління будівельною технікою для земляних робіт

14.1. Автоматизовані системи для грейдерів, бульдозерів, скреперів

Багато фірм, які розробляють геодезичну техніку (Trimble, Leica, Topcon та інші), пропонують автоматизовані системи для проведення земляних робіт. Встановлення цих систем на автогрейдерів, бульдозерів, скреперів, екскаваторів дозволяє відмовитись від розмічувальних земляних робіт, в традиційному понятті, взагалі, а зайнятість геодезиста на ділянці робіт обмежити до мінімуму (лише для створення розмічувальної опорної мережі з мінімальної кількості пунктів – 3–5). Поточне положення робочого органу машини постійно в режимі реального часу порівнюється з проектними координатами земельної ділянки і при недопустимому відхиленні автоматично корегується.

Така система AccuGrade фірми Trimble має кілька варіантів реалізації [25]:

- *AccuGrade Лазер* складається із лазерного нівеліра, який будує проектну площину, давачів (одного чи двох), розташованих на машині (бульдозері, автогрейдері або мінінавантажувачі) та блоку керування, що встановлюється в кабіні водія. Це ідеальне рішення для фінішного нівелювання плоских об'єктів в промисловому і житловому будівництві. Лазерний нівелір може задавати і похилу площину, але з постійним ухилом (рис. 14.1). Крім доріг та автомагістралей ця система ефективна для розпланування спортивних майданчиків, злітно-посадкових смуг і аеропортів, парковок, полігонів твердих побутових відходів, меліорацій та водовідведень, в сільському господарстві, штучних водойм та басейнів. Інша назва такої системи Trimble GCS300, до складу якої входять блок керування CB415, лазерний нівелір та лазерний приймач LR410 чи SR300. Наступною модифікацією є система GCS400 — з використанням двох лазерних приймачів, що дозволяє контролювати крім висоти відвалу ще й поперечний ухил. Контролювати поперечний ухил можна за допомогою іншої системи *AccuGrade Поперечний ухил*

- *AccuGrade Поперечний ухил* – це система для підтримки постійного заданого поперечного ухилу.



Рис. 14.1. Лазерна система *AccuGrade* для автогрейдера

Давачі Trimble AS400, розташовані на машині, обчислюють кут нахилу і дозволяють формувати поверхню із заданим поперечним ухилом. Система автоматично регулює положення лівого або правого гідроциліндрів таким чином, що відвал машини формує поверхню з постійним ухилом. Ця система так само дає можливість оператору зрозуміти, на яку сторону необхідно робити відсипання або де необхідно зрізати землю, щоб отримати заданий поперечний ухил. Оператор може вибрати, якою стороною відвалу управляти автоматично, а також може перемикатися між ними без додаткових налаштувань і калібрувань. Висотна відмітка контролюється оператором вручну. Система контролю поперечного ухилу - це базова автоматична система управління, яка може використовуватися в поєднанні з іншими технологіями, такими як: *AccuGrade* Ультразвук, *AccuGrade* Лазер, *AccuGrade* GPS / ГЛОНАСС або *AccuGrade* UTS.

Аналогічною для автогрейдерів є система GCS500, яка складається з двох кутових давачів AS400 (один встановлюється на відвал автогрейдера, другий – на головну раму) і одного давача повороту RS400. Всі три давачі використовуються для точного обчислення поточного поперечного ухилу робочої поверхні машини. Таке розташування давачів виключає помилки при формуванні заданого поперечного профілю у випадку розвороту відвала автогрейдера чи поздовжнього нахилу осі грейдера. Система має спеціальну функцію дискретної зміни ухилу, що

дозволяє формувати профілі віражів. Перевагою таких систем є можливість їх модернізації. Систему можна доповнити комплектом ультразвукового давача ST300 чи лазерного приймача LR410, що перетворить її в систему GCS600, яка забезпечить створення поверхні з проектним поперечним і поздовжнім ухилами. Як правило, систему GCS600 з лазерними приймачами використовують на об'єктах, які потребують високої точності робіт, наприклад, злітно-посадкові смуги, дороги вищих категорій.

- *AccuGrade Ультразвук* – це підсистема для автоматичного контролю висотної позначки відвалу машини відносно опорної поверхні (бордюру, нівелювальної струни). Основу цієї системи складає ультразвуковий давач (рис. 14.2) – герметичний, стійкий до вологи, температури та вібрації пристрій, який має 5 незалежних сенсорів (рис. 14.2, б), які передають сигнали на блок управління. Значення, отримані від трьох сенсорів, усереднюють і це значення

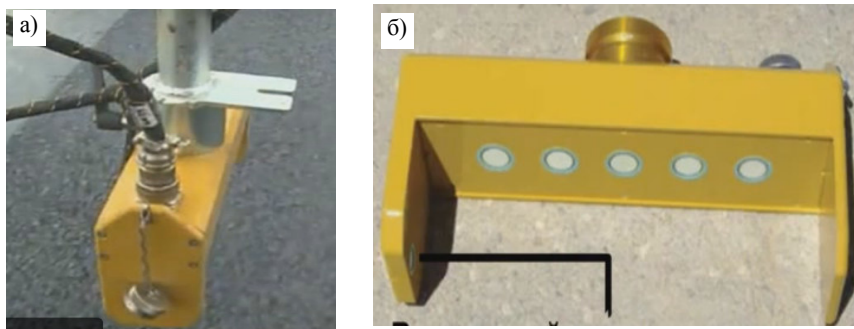


Рис. 14.2. Ультразвуковий давач а) вигляд зверху, б) вигляд знизу

приймають за виміряну висоту (рис. 14.3). Ультразвуковий давач має вбудований сенсор температури. Для земляних робіт зазвичай одночасно використовується лише один ультразвуковий давач. Другий давач потрібен у випадку, коли машина змінює свій напрям руху. Для асфальтовкладальної машини можуть використовуватися одночасно три таких давачі (рис. 14.4).

Коли ця система використовується в комбінації з системою *AccuGrade Поперечний ухил*, то ультразвуковий давач встановлює один кінець відвалу в потрібне висотне положення, а інший кінець – за давачем поперечного ухилу.

Ультразвуковий давач в системі GCS600 дозволяє ефективно

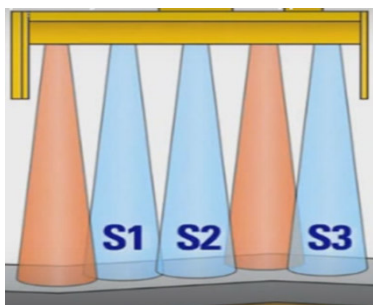


Рис. 14.3. Схема роботи ультразвукового датчика



Рис. 14.4. Три ультразвукових датчиків на асфальтовкладальній машині

формувати вертикальні криві, зменшує втому оператора, збільшує продуктивність праці, крім того зменшує витрати матеріалів дорожнього покриття та мінімізує контроль зі сторони геодезиста (майстра).

- Система *AccuGrade UTS* (рис. 14.5) – це система високоточного динамічного позиціонування, до складу якої входить універсальний роботизований тахеометр, активний відбивач,



Рис. 14.5. Система *AccuGrade* на основі роботизованого тахеометра встановлений на відвалі та блок управління. Активний відбивач

дозволяє системі впевнено утримувати зв'язок між машиною і тахеометром, за рахунок інфрачервоного ідентифікатора, що не дає тахеометру збиватися на інші відбивальні поверхні в зоні його видимості. Роботизований тахеометр оснащений інтелектуальною системою автоматичного пошуку відбивача. Роботизований тахеометр постійно вимірює місцеположення активного відбивача і передає дані в блок управління машини, який показує оператору місцеположення відвалу в реальному режимі часу. Система, знаючи місце розташування тахеометра, відстань до відбивача на відвалі і кут повороту приладу, може розрахувати координати краю відвала машини і порівняти ці дані з показанням давачів на корпусі машини і тривимірною моделлю, видає команди гідравліці машини для виставлення відвалу в потрібну позицію для формування проектної поверхні.

- AccuGrade GPS – найбільш автоматизована та універсальна система з точки зору можливостей та застосування (рис. 14.6). Система складається з одного чи двох приймачів GPS сигналів, які працюють в режимі RTK, блоку управління в кабіні машини та спеціалізованого програмного забезпечення [25]. Просторові координати, отримані від GPS приймачів дозволяють обчислити точне положення ріжучої кромки робочої поверхні машини. Це положення порівнюється з проектними даними в блоці управління. Система регулює положення робочої поверхні гідросистемою машини. До проекту можуть бути внесені зони обходу для машини: колодязі, трубопроводи, лінії електропередач і дренажні канави, які вже існують на об'єкті будівництва.

Всі згадані системи дозволяють операторам працювати без розмічувальних робіт та розмічувальних кілочків, що значно скорочує витрати на геодезичне забезпечення земляних будівельних робіт. Наявність цифрового проекту місцевості прямо в кабіні оператора дозволяє краще організувати будівельний процес, тим самим скоротивши простої і збільшивши окупність техніки

а)



б)



Рис. 14.6. Система *AccuGrade* GPS а) – на автогрейдері, б) – на бульдозері

14.2. Автоматизовані системи для екскаваторів

Характерною та типовою є система автоматизованого управління екскаватором **Power Digger** фірми Leica (рис. 14.7), яка являє собою набір давачів, розташованих на кожній рухомій частині екскаватора (давачі положення секцій стріли та положення ковша, а також давач положення корпусу екскаватора) та контролера, який опрацьовує покази від усіх давачів та графічно відтворює поточне положення робочої грані ковша [25]. Додатково система може мати давач для знаходження комунікацій.

До давачів базової системи відносять:

- кутовий давач **MSS 300** підходить як давач стріли, рукоятки чи ковша. Як правило, він використовується лише для стріли екскаватора;
- давач **MSS 301** з лазерним приймачем – комбінований: лазерний давач і давач кута стріли;
- **MSS 302** – це давач з робочим діапазоном – 360°, який встановлюють на ковші.

Додатково можна встановити ще один давач кута **MSS 300** на рукоятку екскаватора, а також **MRS 300** – давач ухилу, крену та напрямку корпусу (аналог інерційно-навігаційної системи для визначення трьох малих кутів для літака: курсу, крену, тангажу) та давач поперечного ухилу ковша **MSS 303**. Останній буде ефективним при використанні планувального ковша чи формуванні площини з ухилами в двох напрямках. **MRS 300** визначає нахил платформи екскаватора в двох взаємно перпендикулярних напрямках та кут повороту платформи.

В основі роботи давачів системи PowerDigger лежить принцип гравітації. Технологія та програмне забезпечення давачів розроблені ще з 1996 року. На ринку зараз представлені найбільш точні та чутливі рішення. Всі давачі та кабелі водонепроникні. Можливе використання на глибині до 20 м. Завдяки використанню CAN шини встановлення системи відбувається швидко та просто.

Типові задачі, які успішно реалізуються екскаватором з автоматизованою системою **Power Digger** (рис. 14.8) [24]:

1. Фіксована глибина роботи ковша.
2. Формування відкосу із заданим ухилом
3. Розробка траншеї заданої глибини чи заданого ухилу.

4. Робота під водою (без видимості)
5. Укладання шарів траншеї необхідної товщини
6. Вирівнювання поверхонь (режим роботи бульдозера/грейдера), для чого задається проектна висота та ухил.
7. Побудова складних профілів з комбінацією різних ухилів.
8. Робота з ротаційним нівеліром. Проектну висоту (чи проектний ухил) можна задавати лазерним нівеліром, промінь якого фіксується давачем **MSS 301**.
9. Робота ковшем в режимі вимірювань (з певною точністю можна визначати перевищення, довжину та кут).
10. Обмеження роботи по висоті – система видає попереджувальні сигнали при перевищенні заданої висоти. Суттєво підвищується безпека робіт під ЛЕП, мостами.
11. Робота в режимі бура для точного позиціонування на точку. Для виявлення підземних комунікацій ківш обладнують портативним трасошукачем.

Основні переваги системи Power Digger:

- встановлюється на будь-який екскаватор;
- максимально оптимізує розкопки;
- мінімізує кількість працівників (потрібен лише оператор-екскаваторник);
- зменшуються витрати на винос проекту в натуру;
- підвищення продуктивності праці;
- максимальна точність – 1 см;
- простота у використанні;
- висока ступінь захищеності (IP68) – робота в грязі та під водою.

Запитання для самоконтролю до розділу 14

1. *Що входить до складу автоматизованої системи AccuGrade Лазер?*
2. *Що є основним компонентом автоматизованої системи AccuGrade поперечний ухил?*
3. *Для чого призначена системи AccuGrade Ультразвук?*
4. *Що входить до складу автоматизованої системи AccuGrade UTS?*
5. *Опишіть автоматизовану систему AccuGrade GPS.*
6. *Охарактеризуйте автоматизовану систему для*

екскаваторів.

7. Перерахуйте типові задачі, які можна вирішувати екскаватором з автоматизованою системою управління.

8. Перерахуйте основні переваги автоматизованих систем управління екскаватором.

9. Перерахуйте основні переваги автоматизованих систем управління грейдером.

Список літератури

1. Баран П. І. Інженерна геодезія : монографія. К. : ПАТ «ВІПОЛ», 2012. 618 с.: іл.
2. Бачишин Б. Д. Визначення параметрів підкранових колій безвідбивним тахеометром. *Вісник НУВГП. Технічні науки*. Рівне : НУВГП, 2016. Вип. 2(74). С. 223–230.
3. Бачишин Б. Д. Допустимі похибки геодезичного забезпечення спорудження оболонок. *Інженерна геодезія*. К. : КНУБА, 2002. Вип. 46. С. 8–14.
4. Бачишин Б. Д., Старовєров В. С. Точність планового положення пункту, визначеного оберненою лінійно-кутовою засічкою. *Інженерна геодезія*. К. : КДТУБА, 1998. Вип. 39. С. 140–141.
5. Буряк К. О., Гринішак М. Я., Михайлишин В. П., Шпаківський О. Л. Використання електронних тахеометрів при геодезичному контролі підкранових колій. *Вісник геодезії та картографії*. 2011. № 3. С. 5–7.
6. Буряк К. О., Шпаківський О. Л. З досвіду геодезичного контролю геометричних параметрів підкранових колій на Рівненській АЕС. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2012. Вип. 76. С. 40–46.
7. Войтенко С. П. Інженерна геодезія : підручник. 2-е вид., виправ. і доп. К. : Знання, 2012. 574 с.
8. Волосецький Б. І. Інженерна геодезія. Геодезичні роботи для проектування та будівництва водогосподарських та гідротехнічних споруд : навч. посіб. Львів : Видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2003. 144 с.
9. ГОСТ 24846-81. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. М. : Издательство стандартов, 1986. 26 с.
10. ДБН А.2.1-1-2008. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Інженерні вишукування для будівництва. К., 2008. 72 с.
11. ДБН А.2.1-1-2014. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Інженерні вишукування для будівництва. 2-га редакція. К., 2014. 126 с.
12. ДБН А.2.2-3:2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво. К., 2014. 43 с.

13. ДБН В.1.3-2-2010. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві. К., 2010. 70 с.
14. ДБН В.2.3-7-2018. Метрополітени. Споруди транспорту. К., 2019. 70 с.
15. ДСТУ НБВ.1.3-1:2009. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Виконання вимірювань, розрахунків та контроль точності геометричних параметрів. Настанови. К., 2012. 76 с.
16. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98). К., 2002. 214 с.
17. Лазерний нівелір VEGA MIX : посіб. користувача. VEGA Geosystems, 2019. 28 с.
18. Левчук Г. П., Новак В. Е., Конусов В. Г. Прикладная геодезия: основные методы и принципы инженерно-геодезических работ : учеб. для вузов. М. : Недра, 1981. 438 с.
19. Левчук Г. П., Новак В. Е., Лебедев Н. Н. Прикладная геодезия: геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений : учеб. для вузов. М. : Недра, 1983. 400 с.
20. Ляска І. І., Пакшин М. Ю., Стасюк В. М. Дослідження стану геодинамічних процесів в Україні методами і засобами радіолокаційного знімання. *Аерокосмічні технології*. К., 2017. Вип. 1 (1). С. 16–22.
21. Наземное лазерное сканирование : монография / В. А. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров, Т. А. Широкова. Новосибирск : СГГА, 2009. 261 с.
22. Паспорт місцевої системи координат Рівненської області UA_UCS_2000/LCS_56. URL: [http://dgm.gki.com.ua/files/uploads/documents /Rivnenska_20170301.pdf](http://dgm.gki.com.ua/files/uploads/documents/Rivnenska_20170301.pdf) (дата звернення: 06.05.2020).
23. ДНАОП 0.00-1.02.02. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів. Державний нормативний акт по охороні праці : затверджено ДКУ з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 18 червня 2007 р., № 132. 86 с.
24. Система автоматизованого управління екскаватором Power Digger фірми Leica. URL: https://ngc.com.ua/info/digg_all.html (дата звернення: 06.05.2020).

25. Система AccuGrade фірми Trimble. URL: http://gtdv.ru/downloads/sau/1397630856_2d_gcs600_dlya_grejdera.pdf (дата звернення: 06.05.2020).
26. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции. М. : ФГУП ЦПП, 2007. 192 с.
27. Справочник геодезиста : в 2-х книгах / под ред. В. Д. Большакова и Г. П. Левчука. 3 изд., перераб. и доп. Кн. 1. М. : Недра, 1985. 455 с.
28. Тер-Степанян Г. И. Геодезические методы изучения динамики оползней. 2-е изд., перераб. Москва : Недра, 1979. 157 с.
29. GNSS System Trimble R6. Trimble Navigation Limited, 2013. 6 с.
30. GRP System FX. Amberg Technologies AG, 2014. 4 с.
31. Leica Digicat 100/200. User manual. Leica Geosystems, 2012. 69 с.
32. Leica TPS400/TPS410C series. User manual. Leica Geosystems, 2010. 150 с.
33. LN-100 Layout Navigator. Topcon Corporation, 2014. 4 с.
34. RailQ Crane Runway Survey. URL: <https://www.konecranes.com/service/consultation-services/railq-crane-runway-survey> (дата звернення: 06.05.2020).
35. Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning. Training material based on practical applications. Version 4 June 2008. URL: https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/201130/2/Leonardo_Tutorial_Final_vers5_ENGLISH.pdf (дата звернення: 06.05.2020).
36. VIY3-700 Ground Penetrating Radar. Transient Technologies LLC, 2014. 4 с.

Параметри місцевої системи координат МСК -56

№ з/п	Назва параметру	Значення параметру
1.1	Рєєстровий номер	56:001
1.2	Ідентифікатор МСК	UA UCS 2000/LCS 56
1.3	Повна назва МСК	Місцева система координат Рівненської області – УСК-2000
1.4	Територія розповсюдження	Рівненська область
1.5	Північна паралель межі території	51°57.9'
1.6	Південна паралель межі території	49°59.4'
1.7	Західний меридіан межі території	25°05.2'
1.8	Східний меридіан межі території	27°45.3'
1.9	Мета створення МСК	Забезпечення великомасштабного топографічного та кадастрового знімання
1.10	Назва суб'єкта топографо-геодезичної діяльності, який ініціює встановлення або зміни МСК	Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру
1.11	Назва організації, яка розробляє технічний проект встановлення або зміни МСК	ДП «Науково-дослідний інститут геодезії і картографії»
1.12	Назва організації, яка виконала топографо-геодезичні роботи з встановлення або зміни МСК	ДП «Науково-дослідний інститут геодезії і картографії»
1.13	Дата виконання робіт із встановлення або зміни МСК	31.01.2012
1.14	Назва організації, яка виконала експертизу	Укркартгеофонд
1.15	Номер акту експертизи	1353
1.16	Дата проведення експертизи	3 жовтня 2012 р.
1.17	Нормативний документ, за яким введено або змінено МСК	Наказ Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру від
1.18	Дата введення або зміни МСК	01.01.2013
1.19	Обмеження на використання МСК	немає
1.20	Ідентифікатор попередньої МСК	Відсутній

№ з/п	Назва параметру	Значення параметру
2.1	Назва вихідної системи координат	Державна геодезична референсна система координат УСК-2000
2.2	Назва еліпсоїду	Красовського
2.3	Одиниця виміру великої піввісі	метр
2.4	Велика піввісь	6 375 245.000
2.5	Стиснення еліпсоїду	1/298.3
2.6	Одиниця виміру довготи осьового меридіану	Градус, мінута, секунда
2.7	Значення геодезичної довготи осьового меридіану МСК	27° 00' 00"
2.8	Тип МСК	прямокутна
2.9	Розмірність МСК	2D
2.10	Назва картографічної проекції	Гауса-Крюгера
2.11	Орієнтація осьового меридіану МСК відносно УСК-2000	00° 00'
2.12	Масштабний коефіцієнт вздовж осьового меридіану	1.00000
2.13	Одиниця вимірювання координат	метр
2.14	Назва координатної осі абсцис	x
2.15	Орієнтація координатної осі x	північ
2.16	Зміщення абсциси x_0 початку МСК, м	0
2.17	Назва координатної осі ординат	y
2.18	Орієнтація координатної осі y	схід
2.19	Зміщення ординати y_0 початку МСК, м	300 000
2.20	Система висот	Балтійська 77
2.21	Одиниця виміру висот	Метр
2.22	Зміщення МСК відносно Балтійської	0.000
2.23	Висота поверхні відносності МСК	0.000
2.24	Значення критерію оптимальності Ейрі	0.0000291
2.25	Максимальний коефіцієнт спотворення довжини лінії	1.000224
2.26	Максимальне відносне спотворення довжини лінії	1/4457
2.27	Максимальний коефіцієнт спотворення площі	1.000449
2.28	Максимальне відносне спотворення площі	1/2229
2.29	Зв'язок системи координат УСК-2000 з МСК	Перетворення прямокутних координат УСК-2000 із стандартної зони Гауса-Крюгера в зону з осьовим меридіаном МСК

Додаток Б

Уніфіковані категорії складності умов при виконанні інженерно-геодезичних вишукувань для будівництва, за якими визначається вартість робіт

Фактори	I	II	III	IV	V
Ухил місцевості	до 0,01	0,01...0,025	0,025...0,035	0,035...0,07	більше 0,07
Пересіченість місцевості	степова, лісостепова відкрита місцевість із невеликою кількістю великих контурів; кількість штативів на 1 км ходу – 5-7, пікетів на 1 га зйомки 16-25	відкрита рівнинна або пагорбкувата місцевість зі значною кількістю чітко виражених форм рельєфу та ситуації, відкрите легкопрохідне болото; кількість штативів – 10-12, пікетів – 26-50	напівзакрита рівнинна або пагорбкувата місцевість, пересічена балками і ярами з дрібними формами рельєфу та великою контурністю; відкрите болото середньої прохідності; відкрита гірська місцевість з рельєфом середньої складності; кількість штативів – 15-20 пікетів – 51-80	рівнинна або пагорбкувата місцевість, сильно пересічена балками і ярами; гірська місцевість із простими формами рельєфу; відкрите важкопрохідне болото; території промислових і будівельних майданчиків з великою кількістю контурів; кількість штативів - 25-30, пікетів - 81-120	гірська місцевість зі складними формами рельєфу; високогірні райони, напівзакриті із сильно розчленованим рельєфом, з відносними перевищеннями більше 0,5 км; території промислових і будівельних майданчиків, кар'єрів відкритої розробки корисних копалин з великою кількістю контурів; кількість штативів – 32-35, пікетів – більше 120
Забудова, насаджень дерев	щільність забудови до 20%; незначна кількість елементів ситуації	щільність забудови 20-30 %; будівлі простої конфігурації, значна кількість елементів ситуації; міські сквери, сади та парки без подеревної зйомки	щільність забудови 30—40%; будівлі складної конфігурації; міста та селища з невеликою кількістю високих будинків і деревонасадженнями висотою 10-15 м, місцями з підліском або густим чагарником; приміські зони великих міст; промислові та будівельні майданчики із середньою забудованістю	щільність забудови 40-50 %; будівлі складної конфігурації, велика кількість елементів ситуації; міські сквери, сади та парки нескладної конфігурації за умови подеревної зйомки	щільність забудови понад 50 %; будівлі складної конфігурації з великою кількістю елементів ситуації; великі промислові центри; міські сквери, сади та парки з великою кількістю дрібних елементів ситуації, а також чагарнику та інших насаджень, що підлягають подеревній зйомці; головні магістралі великих міст

продовження додатка Б

Фактори	I	II	III	IV	V
Рух транспор-ту та пішоходів, інші перешкод-ди	дороги з незначним рухом транспорту	дороги та вулиці міст, селищ, промислових і будівельних майданчиків зі слабким рухом транспорту; незначна кількість котлованів, відвалів та ін	рух транспорту та пішоходів середньої інтенсивності; діючі промислові та будівельні майданчики з наявністю котлованів? відвалів	вулиці міст із інтенсивним рухом транспорту та пішоходів, що не затрудняв проведення робіт; промислові та будівельні майданчики зі значною контурністю	головні магістралі великих міст із інтенсивним рухом транспорту та пішоходів; задимленість і загазованість атмосфери; діючі великі промислові та будівельні майданчики, діяльність яких викликає порушення безперервності технологічного процесу вишукувань
Інженерні комунікації	до 3 видів мереж; понад 20 колодязів на 1 га із чіткими зовнішніми ознаками, що не потребують очищення	3-5 видів мереж; 15-20 колодязів на 1 га, із чіткими зовнішніми ознаками, що не потребують очищення	5-8 видів мереж; 9-14 колодязів на 1 га, зйомка частини мереж вимагає очищення, пошуку зовнішніх ознак і використання приладів пошуку	8-10 видів мереж; 4-8 колодязів на 1 га; зйомка мереж вимагає очищення, пошуку зовнішніх ознак і використання приладів пошуку	понад 10 видів мереж; до 3 колодязів на 1 га; значна кількість зовнішніх ознак вимагає інструментального пошуку з розчищенням колодязів, розкриття окремих прокладок шурфами; загазованість елементів прокладок, що вимагає примусової вентиляції

Вимоги до тунельної полігонометрії згідно ДБН В.2.3-7-2018

Загальна довжина тунелю, L км	Розряд тунельної полігонометрії	Довжина сторін, км	Середня квадратична похибка кута, сек.		Середня відносна похибка сторони		Допустимі відносні похибки ходу		
			за оцінкою на станції	оцінка за багаторазовим вимірюванням і нев'язками фігур	для криволінійного тунелю	для прямолінійного тунелю	для криволінійного тунелю	Для прямолінійного тунелю	
								за поперечним відхиленням	за поздовжнім відхиленням
Понад 8	I-T	3-10	0,4	0,7	1:300000	1:150000	1:200000	1:200000	1:100000
5 – 8	II-T	2-7	0,7	1	1:200000	1:100000	1:150000	1:150000	1:70000
2 – 5	III-T	1,5-5	1	1,5	1:150000	1:70000	1:120000	1:120000	1:60000
1 – 2	IV-T	1,3	1,5	2	1:100000	1:50000	1:70000	1:70000	1:40000

Предметний покажчик

- Аерофотознімання 54, 55, 111,
113, 117-119, 121, 133, 136
БЛА 54, 55, 111, 113, 119, 136
Великомасштабне знімання 40,
52, 54, 184
Вертикальна крива
- колова 54, 57, 106, 118, 175
- перехідна 58
Вертикальне планування 40, 59,
62, 96
Виконавча схема 98, 99
Виконавче знімання 28, 51, 61,
71, 75, 76, 96-99, 101, 104,
105, 108, 111, 112, 116-118,
128-130, 134-136, 156, 157,
163, 164
Виконавче креслення 145
Висок 12, 29, 41, 75, 92, 93, 101
Вишукування
- геодезичні 40, 44, 51, 54,
118, 120, 132, 187, 188
- геологічні 120
- гідромеліоративні 141
- гідрометричні 120
Віддалемір
- інтерферометричний 161
- лазерний 32, 115
- радіо 160
Візор лазерний 10, 13, 104,
Вільна станція 14, 16, 17, 29,
44, 55, 58-61, 65-67, 73, 76,
94, 96-98, 100, 107, 109-112,
116, 125, 126, 130, 134, 136,
147, 155, 168
Віраж 56, 57, 109-111
Вісь
- головна 40, 59, 60, 96, 155
- основна 59, 60, 71, 96, 99,
129
- маршруту 133
- монтажна 71, 99, 129
- поздовжня 134-136
- переходу 120, 124
- траси 104, 106
Галс 140
Геодезична будівельна сітка 45,
132-134
Геодезична мережа
- внутрішня 59, 63, 99, 100
- розмічувальна 46, 59, 60,
62, 63, 66, 67, 70, 99, 100,
123, 124, 146, 161
Геоїд 24, 42
Георадар 37, 38
Гіродедоліт 152, 153
Гіроскоп 153
Гіроскопічна насадка 153
Горизонтальна крива
- колова 54-57, 106, 107-111,
118
- коробова 111
- перевідна 112
- перехідна 55-57, 107-110
Гранична нев'язка 118, 140,
147, 148
Гранична похибка 44, 85, 86,
92, 95, 101, 121, 128, 156,
167
Граничне відхилення 53, 58, 73,
77, 78, 88, 99, 101, 103, 135,
164
Давач 114, 116, 170, 172, 173,
178, 179

Давач

- лазерний 31, 178
- оптичний 116
- ультразвуковий 174
- фотоелектричний 102, 103

Державна геодезична мережа

56, 107, 120, 133, 185

Допуск

61, 64, 80, 81, 114, 167, 168

Допустиме відхилення

96, 108, 121, 157, 189

Ехолот

Засічка

- обернена 67-69
- кутова 65-68, 94
- лінійна 65-69
- лінійно-кутова 67-69, 94
- створна 65
- полярна 125
- просторова 67-69

Кarti

139, 146

Картографування

- неоднорідностей 37

Картографічна система

- мобільна 55, 111

Квазігеоїд

Клас

- нівелювання 121, 128, 129, 133, 138, 147, 152, 153
- точності 64, 80, 85, 86

Клотоїда

Крива підпору

139, 54, 91, 95, 119, 130, 133, 136, 156, 157

Лінійно-кутові мережі

44, 59, 69, 91, 94, 95, 121, 124, 133, 140, 146-148

Монтажний горизонт

59-63, 99, 100, 104

Нестиккування

Нівелір

- лазерний 29, 30, 31, 66, 72-74, 103, 104, 129, 172, 179
- цифровий 161

Нівелювання

- бокове 72, 75, 102, 129, 164
- геометричне 74, 82, 84, 90, 92, 97, 100, 102, 118, 121, 129, 138, 139, 147, 154, 159-161, 164
- геометричне подвійне 122
- гідродинамічне 90
- гідростатичне 74, 82, 90, 102, 121, 123, 160
- квадратами 132, 133
- мікро 160
- супутникове 121, 123, 160
- тригонометричне 74, 82, 84, 90, 97, 100, 118, 121, 123, 133, 139, 154, 163, 165

Обнесення

Ортофотоплан

Палетка

Параметри кривої

56, 58, 106, 110, 129

Піввісь велика

Планування поверхні

96, 134, 172

Площина

- вертикальна 25, 30, 57, 72, 76, 155
- горизонтальна 25, 30, 72, 77, 80

Полігонометрія

44, 94, 124, 133, 140, 146-150, 189

Прив'язка мереж

107, 115, 116, 133, 140

Прилад лазерний 30, 66, 71, 73,
75, 101, 104, 129, 136, 155

Прилади ПВП 75, 92, 93

Принцип

- мізерного впливу 48
- рівного впливу 48, 150

Проекція Гауса-Крюгера 43,
147, 148, 185

Проектування

- вертикальне 75, 92, 93,
100, 102
- похиле 75, 92, 93, 100, 102,
163

Радарна інтерферометрія 160

Репер

- глибинний 84, 160
- ґрунтовий 84, 96, 116, 117,
121-123, 133, 151, 153
- стінний 84

Референц-еліпсоїд

- Красовського 43, 185

Рівень

- будівельний 98, 101, 104
- електронний 12
- циліндричний 122
- лазерний 30, 66

Розмірний ланцюг 48

Рулетка

- лазерна 31-33, 104
- металева 154

Серпантина 110

Система висот

- динамічних 42, 43
- нормальних 42, 43
- ортометричних 42, 43

Система координат

- державна 27, 43, 120, 185
- місцева 43, 184, 185
- об'єкта 59, 94

- УСК-2000 43, 184, 185

- умовна 120, 124, 148

- МСК-56 43, 184, 185

Сканер лазерний 24-26, 28, 55,
76, 115, 116, 119, 156, 170

Спосіб контролю
прямолінійності

- автоколімаційний 73
- авторефлекційний 73
- дифракційний 73
- колімаційний 73
- лазерний 73
- оптичний 73

Спосіб орієнтування шахт

- гіроскопічний 152
- двох висків 152
- двох шахт 152
- з'єднувальних трикутників
152

Стабільність реперів 87-90

Стереотопографічне знімання
82, 133

Створ 19, 66, 91, 92, 94, 152,
159-161, 164

Тахеометр електронний 10-21,
29, 44, 55, 58-60, 65-69, 71,
73-76, 84, 90-94, 96-116, 123-
130, 133-140, 147, 148, 153-
157, 163-170, 175, 176

Температурна деформація 100,
116, 129

Теодоліт 44, 75, 113, 163

Топографічне знімання 10, 184

Топографічний план 51-53, 140,
145

Трасошукач 33-37, 53, 179

Трилатерація 146

Трипелъпризма 83, 84

Тріангуляція 146

Ухил

- відгону віражу 109
- віражу 56, 109, 111
- поздовжній 56, 106, 108, 109, 110, 127, 174
- поперечний 107, 108, 109, 110, 127, 170, 172-174

Фототеодоліт 91

Цифрова камера 55, 119

Цифрова модель

- місцевості 133
- проекту 66, 176
- рельєфу 176

Центрир лазерний 10, 12

Навчальне видання

Бачишин Богдан Дмитрович

ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ

Навчальний посібник

Технічний редактор

Г. Ф. Сімчук